

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN
TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK
BERTULANGAN TARIK 2 Ø 7,4
(VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 . 5 Ø 7,4 DAN 6 Ø 7,4)**



Oleh :

WAHYU BUDIANTO

NIM : 08.21.903

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

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

2012

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN
TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN
TARIK 2 Ø 7,4
(VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 . 5 Ø 7,4 DAN 6 Ø 7,4)**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil (S-1)
Institute Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :

WAHYU BUDIANTO

08.21.903

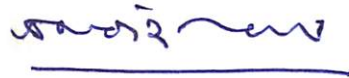
Menyetujui :

Pembimbing I



(Ir. Bambang Wedyantadji, MT)

Pembimbing II



(Ir. H. Sudirman Indra, M.sc)

Mengetahui :

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1




(Ir. H. Hirijanto, MT)

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP
LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 2 Ø 7.4
(VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7.4 , 5 Ø 7.4 DAN 6 Ø 7.4)**

SKRIPSI

**Dipertahankan di hadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi
Jenjang Strata Satu (S - 1)
Pada hari : Sabtu
Tanggal : 07 Januari 2011
Dan diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

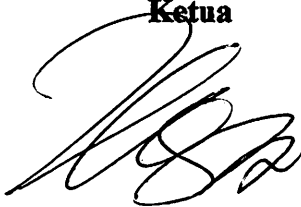
Disusun oleh :

**WAHYU BUDIANTO
08.21.903**

Disahkan oleh :

Disahkan oleh

Ketua



(Ir.H Hirijanto, MT)

Sekretaris



(Lila Ayu Ratna Winanda, ST., MT)

Anggota Penguji

Dosen Penguji I



(Yosimson Petrus Manaha, ST., MT)

Dosen Penguji II



(Ir. Eding Iskak, MT)

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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : WAHYU BUDIANTO

Nim : 0821903

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Sipil Dan Perencanaan


Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya dengan judul

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN
TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN
TARIK 2 Ø 7,4
(VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 . 5 Ø 7,4 DAN 6 Ø 7,4)**

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

Malang, 28 Februari 2012

Yang Membuat Pernyataan


**METERAI
TEMPEL**
4819EAAF324427209
6000 DJP
(WAHYU BUDIANTO)

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT 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. Ibu Lila Ayu Ratna Winanda,ST.,MT selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
4. Ir. Bambang Wedyantadji.MT selaku dosen Pembimbing yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
5. Ir.H.Sudirman Indra.M.Sc selaku dosen Pembimbing yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Mahfud selaku Asisten Laboratorium yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.
7. Bapak I Komang Astana Widi, ST.,MT selaku Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Mesin ITN Malang yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.

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

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

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

Malang, 6 Oktober 2011

Penulis

ABSTRAK

Wahyu Budianto, 2012

"PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 2 Ø 7,4 (VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 . 5 Ø 7,4 DAN 6 Ø 7,4)" Dosen Pembimbing : Ir. Bambang Wedyantadji, MT dan Ir. Sudirman Indra, M.sc.

Sebagai salah satu elemen struktur dari bangunan, balok mempunyai fungsi yang sangat penting didalam sistem struktur bangunan. Balok merupakan elemen struktur yang fungsinya menahan beban lentur akibat dari beban vertikal. Beban vertikal yang didukung meliputi beban hidup, beban plat, berat tembok dan berat balok itu sendiri.

Balok mempunyai dua bagian, yaitu daerah tekan dan daerah tarik. Pada daerah tekan gaya luar yang ada sepenuhnya ditahan oleh beton, namun pada daerah tarik, dikarenakan kekuatan beton sangatlah kecil untuk dapat menahan gaya tarik, diperlukan baja tulangan guna mengatasi kelemahan beton tersebut.

Dalam penelitian yang kami lakukan, kami mencoba mengatasi masalah lendutan dengan cara penambahan tulangan pada daerah tekan dan kemudian kita bandingkan hasil pengujian dengan analisis teoritis.

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan jumlah tulangan tekan terhadap lendutan dan mengetahui *defleksi* yang terjadi pada setiap penambahan tulangan serta mengetahui bentuk retak yang terjadi akibat penambahan tulangan tarik 2 Ø 7,4 (variasi tulangan tekan 2 Ø 7,4 . 5 Ø 7,4 dan 6 Ø 7,4).

Berdasarkan parameter lendutan hasil analisa balok eksperimen dengan teoritis, dapat disimpulkan. Persentase rata –rata antara lendutan teoritis akibat penambahan tulangan tekan antara balok normal dengan balok variasi 2 terdapat perbedaan rata-rata 22.498% sedangkan antara balok normal dengan balok variasi 3 terdapat perbedaan rata-rata 7.343%. Lendutan eksperimen akibat penambahan tulangan tekan antara balok normal dengan balok variasi 2 terdapat perbedaan rata-rata 10.475% sedangkan antara balok normal dengan balok variasi 3 terdapat perbedaan rata-rata 21.476%. Untuk perbandingan lendutan teoritis Variasi 2 dengan eksperimen Variasi 2 terdapat perbedaan rata-rata 62.59% dan perbandingan lendutan teoritis variasi 3 dengan eksperimen variasi 3 terdapat perbedaan rata-rata 88.33%. Dari nilai tersebut terlihat penambahan tulangan tekan tidak efektif mengurangi lendutan

Kata Kunci : defleksi, efektif dan lendutan

DAFTAR ISI

Halaman

Halaman Judul	
Lembar Persetujuan	I
Lembar Pengesahan.....	II
Pernyataan Keaslian Skripsi.....	III
Kata Pengantar.....	IV
Abstrak.....	VI
Daftar Isi.....	VII
Daftar Tabel	X
Daftar Gambar	XII
Daftar Lampiran	XV
Daftar Arti Lambang dan Singkatan	XVI
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Hipotesa Penelitian	5
1.7. Metodologi	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pendahuluan.....	6
2.2. Bahan Penyusun Baton Bertulang	6
2.2.1. Semen.....	6
2.2.2. Agregat.....	7
a. Agregat Kasar	8
b. Agregat Halus	8
2.2.3. Air	9
2.2.4. Baja Tulangan	9
2.3. Metode Analisis dan Perencanaan	10
2.3.1. Konsep Dasar Balok	10
2.3.2. Momen tahanan.....	11
2.4. Defleksi.....	14
2.4.1. Hubungan Beban dan Defleksi	14
2.4.2. Perilaku Defleksi Balok	15
2.4.3. Batasan-Batasan Defleksi.....	18
2.4.4. Analisa Defleksi	20
a. Moment retak	20
b. Moment inersia penampang retak	21
c. Lendutan Seketika (Short-term/immediate deflection)	23
d. Pengendalian Retak.....	25
2.5. Penelitian Terkait	27

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1.	Umum	29
3.2.	Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.3.	Metode Penelitian.....	29
3.4.	Analisis Preliminari Penelitian.....	30
3.5.	Parameter Penelitian	30
	3.5.1. Bahan Uji	30
	3.5.2. Benda Uji	31
3.6.	Peralatan Penelitian	33
3.7.	Tahap Pelaksanaan Eksperimen	34
	3.7.1 Persiapan Bahan.....	34
	3.7.2 Pembuatan Sample.....	35
	3.7.3 Perawatan Benda Uji.....	38
	3.7.4 Proses Pengujian.....	39
3.8.	Laporan yang dikerjakan.....	41
3.9.	Bagan Alir Proses Penelitian.....	43
3.10.	Bagan Alir Proses Penelitian Bahan Penelitian.....	44
BAB IV	ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Analisis Hasil.....	45
	4.1.1. Data campuran beton.....	45
	4.1.2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder beton.....	46
	4.1.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja.....	48
4.2.	Analisis Teoritis.....	48
	4.2.1. Kontrol momen.....	48
	4.2.1.1. Balok normal.....	48
	4.2.1.2. Balok variasi 2.....	57
	4.2.1.3. Balok variasi 3.....	66
	4.2.2 Perhitungan beban (P).....	76
	4.2.3 Perhitungan lebar retak.....	79
	4.2.4 Letak garis netral penampang transformasi....	80
	4.2.5 Momen inersia penampang retak transformasi.....	86
	4.2.6 Momen inersia penampang utuh (I_g).....	86
	4.2.7 Momen saat timbul retak pertama kali (M_{cr})....	87
	4.2.8 Moment inersia efektif (I_e).....	88
	4.2.9 Lendutan ($\Delta_{maks.}$).....	88
	4.2.10 Data Lab Hasil Pengujian Lendutan.....	101
	4.2.11 Retak.....	107
4.3	Pembahasan.....	111
	4.3.1 Mekanisme balok terlentur maksimal.....	111
	4.3.2 Perbandingan lendutan Teoritis dan Eksperimen Setiap Balok.....	114

4.3.3	Perbandingan teoritis antar balok.....	119
4.3.4	Perbandingan eksperimen antar balok.....	120
4.3.5	Hubungan Lendutan dan Penambahan Tulangan Tekan.....	124
4.3.6	Perbandingan Lebar Retak Arah Horisontal Eksperimen dan Teoritis.....	127
4.3.7	Hubungan Beban dan Pola Retak dengan Penambahan Tulangan Tekan.....	127
4.3.8	Validasi lendutan teoritis dan eskperimen antar balok.....	137
BAB V PENUTUP		
5.1.	Kesimpulan.....	139
5.2.	Saran.....	140
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1	18
Ketebalan minimum balok non-prategang atau plat satu arah bila <i>defleksi</i> tidak dihitung.....	
Tabel 2.2	19
Lendutan ijin maksimum	
Tabel 2.3	24
Perumusan momen dan defleksi untuk beberapa kondisi beban dan pendukung yang paling umum.....	
Tabel 3.1	31
Perincian tulangan dan variasi benda uji.....	
Tabel 4.1	46
Proporsi campuran beton hasil mix design.....	
Tabel 4.2	47
Hasil pengujian kuat tekan beton.....	
Tabel 4.3	48
Pemeriksaan mutu baja.....	
Tabel 4.4	78
Analisis teoritis untuk pembebanan maksimum.....	
Tabel 4.5	80
Analisis teoritis retak.....	
Tabel 4.6	86
Momen Inersia Penampang retak Transformasi Teoritis..	
Tabel 4.7	87
Momen Inersia Timbul Retak Pertama Kali.....	
Tabel 4.8	90
Hasil Analisis Lendutan (Δ) Teoritis.....	
Tabel 4.9	90
Hasil Analisis Momen Inersia Efektif (I_e) Akibat berat Sendiri dan Beban Terpusat Teoritis.....	
Tabel4.10	95
Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) balok normal.....	
Tabel4.11	96
Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 2.....	
Tabel4.12	97
Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 3.....	
Tabel4.13	101
Hasil Pengujian Balok Normal.....	
Tabel4.14	103
Hasil Pengujian Balok Variasi 2.....	
Tabel4.15	105
Hasil Pengujian Balok Variasi 3.....	
Tabel4.16	115
Perbandingan Lendutan Teoritis dan Eksperimen Pada Balok Normal.....	
Tabel4.17	116
Perbandingan Lendutan Teoritis dan Eksperimen Pada Balok Variasi 2.....	
Tabel4.18	118
Perbandingan Lendutan Teoritis dan Eksperimen Pada Balok Variasi 3.....	
Tabel4.19	119
Perbandingan Lendutan Teoritis Antar Balok Akibat Beban Eksperimen	
Tabel4.20	121
Perbandingan Lendutan Eksperimen Antar Balok.....	
Tabel4.21	124
Hubungan Lendutan Teoritis dan Penambahan Tulangan Tekan.....	
Tabel4.22	125
Hubungan Lendutan Eksperimen dan Penambahan	

	Tulangan Tekan.....	
Tabel4.23	Perbandingan Lebar Retak Horizontal Eksperimen dan Teoritis.....	127
Tabel4.24	Hubungan Panjang Retak vertikal eksperimen dan Penambahan Beban Pada Balok Normal 1A.....	128
Tabel4.25	Hubungan Panjang Retak vertikal eksperimen dan Penambahan Beban Pada Balok Normal 1B.....	129
Tabel4.26	Hubungan Panjang Retak vertikal eksperimen dan Penambahan Beban Pada Balok Variasi 2A.....	130
Tabel4.27	Hubungan Panjang Retak vertikal eksperimen dan Penambahan Beban Pada Balok Variasi 2B.....	131
Tabel4.28	Hubungan Panjang Retak vertikal eksperimen dan Penambahan Beban Pada Balok Variasi 3A.....	132
Tabel4.29	Hubungan Panjang Retak vertikal eksperimen dan Penambahan Beban Pada Balok Variasi 3B.....	133
Tabel4.30	Perbandingan Perbedaan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Antar Balok	138

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
2.1 Distribusi regangan dan tegangan yang terjadi pada balok; (a) irisan penampang balok; (b) regangan; (c) dan (d) blok regangan ekuivalen asumsi.....	12
2.2 Lendutan pada balok.....	14
2.3 Hubungan beban-defleksi balok. Daerah I, tahap praretak; Daerah II, tahap pascaretak; Daerah III, tahap pasca kemampuan layan (baja meleleh).....	16
2.4 Balok yang dibebani secara terpusat pada saat tahap praretak.....	16
2.5 Penampang balok transformasi tanpa tulangan desak.....	21
2.6 Penampang balok transformasi dengan tulangan desak...	22
2.7 Luas tarik efektif beton.....	26
3.1 Sketsa tipe benda uji.....	32
3.2 Peralatan Slump Test.....	33
3.3 Proses pengujian lendutan.....	41
3.9 Bagan alir rencana penelitian.....	43
3.10 Bagan alir pengujian material.....	44
4.1 Penampang balok normal.....	48
4.2 Penampang balok normal asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik.....	50
4.3 Model diagram regangan tulangan.....	52
4.4 Diagram regangan dan tegangan balok normal.....	56
4.5 Penampang balok variasi 2.....	57
4.6 Penampang balok variasi 2 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik.....	58
4.7 Penampang balok variasi 2 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan.....	61
4.8 Diagram regangan dan tegangan balok variasi 2.....	65
4.9 Penampang balok variasi 3.....	66
4.10 Penampang balok variasi 3 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik.....	67
4.11 Penampang balok variasi 3 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan.....	70
4.12 Diagram regangan dan tegangan balok variasi 3.....	75
4.13 Sketsa penempatan balok saat pengujian.....	76
4.14 Sketsa pembebanan terpusat.....	76

4.15	Sketsa pembebanan merata.....	77
4.16	Penampang transformasi balok normal.....	80
4.17	Penampang transformasi balok variasi 2.....	82
4.18	Penampang transformasi balok variasi 3.....	84
4.19	Sketsa penempatan balok saat pengujian.....	91
4.20	Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok normal	98
4.21	Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok Variasi 2.....	99
4.22	Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok Variasi 3.....	100
4.23	Grafik hubungan beban eksperimen-lendutan balok Variasi 1A dan normal 1B.....	102
4.24	Grafik hubungan beban eksperimen-lendutan balok Variasi 2A dan 2B.....	104
4.25	Grafik hubungan beban eksperimen-lendutan balok Variasi 3A dan 3B.....	106
4.26	Rekam Retak yang Terjadi Pada Balok Normal 1A.....	107
4.27	Rekam Retak yang Terjadi Pada Balok Normal 1B.....	108
4.28	Rekam Retak yang Terjadi Pada Balok Variasi 2A.....	108
4.29	Rekam Retak yang Terjadi Pada Balok Variasi 2B.....	109
4.30	Rekam Retak yang Terjadi Pada Balok Variasi 3A.....	109
4.31	Rekam Retak yang Terjadi Pada Balok Variasi 3B.....	110
4.32	Balok Mengalami Lendutan Akibat Beban Puncak.....	112
4.33	Pengukuran Panjang Retak.....	113
4.34	Pengukuran Lebar Retak.....	114
4.35	Grafik Lendutan Eksperimen dan Teoritis Lendutan Balok Normal.....	115
4.36	Grafik Lendutan Eksperimen dan Lendutan Teoritis Balok Variasi 2.....	117
4.37	Grafik Lendutan Eksperimen dan Lendutan Teoritis Balok Variasi 3.....	118
4.38	Lendutan Teoritis Antar Balok Akibat Beban Eksperimen...	120
4.39	Grafik Lendutan Eksperimen Antar Balok.....	121
4.40	Grafik Lendutan Teoritis dan Eksperimen Antar Balok.....	122
4.41	Grafik Lhubungan Lendutan Dan Penambahan Tulangan Tekan (A) Teoritis,(B) Eksperimen	126
4.42	Grafik Hubungan Panjang Retak Vertikal Eksperimen dan Penambahan Beban Balok Normal 1A.....	128
4.43	Grafik Hubungan Panjang Retak Vertikal Eksperimen dan Penambahan Beban Balok Normal 1B.....	129

4.44	Grafik Hubungan Panjang Retak Vertikal Eksperimen dan Penambahan Beban Balok Variasi 2A.....	130
4.45	Grafik Hubungan Panjang Retak Vertikal Eksperimen dan Penambahan Beban Balok Variasi 2B.....	131
4.46	Grafik Hubungan Panjang Retak Vertikal Eksperimen dan Penambahan Beban Balok Variasi 3A.....	132
4.47	Grafik Hubungan Panjang Retak Vertikal Eksperimen dan Penambahan Beban Balok Variasi 3B.....	133
4.48	Pengukuran Sudut Kemiringan Rata-Rata Pada Grafik Hubungan Beban Retak Balok Normal A(a) dan Balok Normal B(b).....	134
4.49	Pengukuran Sudut Kemiringan Rata-Rata Pada Grafik Hubungan Beban Retak Balok Variasi 2A(a) dan Variasi 2B(b).....	135
4.50	Pengukuran Sudut Kemiringan Rata-Rata Pada Grafik Hubungan Beban Retak Balok Variasi 3A(a) dan Variasi 3B(b).....	136

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** **Laporan Pengujian Bahan dan Mix Design**
- Lampiran 2** **Laporan Pengujian Laboratorium (Kuat tekan dan
Kuat Tarik Baja)**
- Lampiran 3** **Gambar alat-alat percobaan**
- Lampiran 4** **Surat keterangan penelitian dari Universitas
Brarwijaya**
- Lampiran 5** **Gambar pola retak balok hasil pengujian lendutan.**

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

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 2Ø7,4 (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 pada balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 2

- tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4 ?
2. Bagaimana bentuk kurva hubungan antara *defleksi* dan beban akibat penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4 ?
 3. Bagaimana bentuk retak yang terjadi pada balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4 ?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui *defleksi* yang terjadi pada setiap penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4
2. Mengetahui bentuk kurva hubungan antara *defleksi* dan penambahan tulangan balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4
3. Mengetahui bentuk retak yang terjadi akibat penambahan tulangan balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2

tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 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. Mencari defleksi yang terjadi akibat penambahan tulangan balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4
2. Mencari bentuk kurva hubungan antara *defleksi* dan beban akibat penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4

3. Mencari bentuk retak yang terjadi pada balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 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 balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4
2. H_a = Tidak terdapat pengaruh pada defleksi akibat penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 pada balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4

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 hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

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

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

2.2.2. Agregat

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

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

Sedangkan maksud dari penggunaan agregat dalam pembuatan campuran beton adalah:

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

a. Agregat Kasar

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

b. Agregat Halus

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

Berdasarkan ASTM ukurannya bervariasi antara No. 4 dan No. 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan

organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton (*Edward G. Nawy, 1990*).

2.2.3. Air

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

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

2.2.4. Baja Tulangan

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

Baja tulangan untuk beton terdiri dari batang-batang, kawat-kawat dan pabrikan 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 *defleksi* tambahan, mengakibatkan pembentukan retak-retak lentur sepanjang bentang dari balok balok tersebut. Penambahan yang terus-menerus terhadap tingkat beban mengakibatkan kegagalan elemen struktural ketika beban eksternal mencapai kapasitas elemen tersebut. Suatu tingkat beban yang seperti itu diistilahkan keadaan batas kegagalan terhadap lentur. Konsekuensinya, mendesain

irisan penampang elemen atau balok sehingga tidak akan mengakibatkan retak yang berlebihan pada saat tingkat beban layan yang memiliki keamanan dan kekuatan cadangan yang cukup untuk menahan beban-beban atau tegangan-tegangan yang diterapkan tanpa kegagalan.

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

$$C = T$$

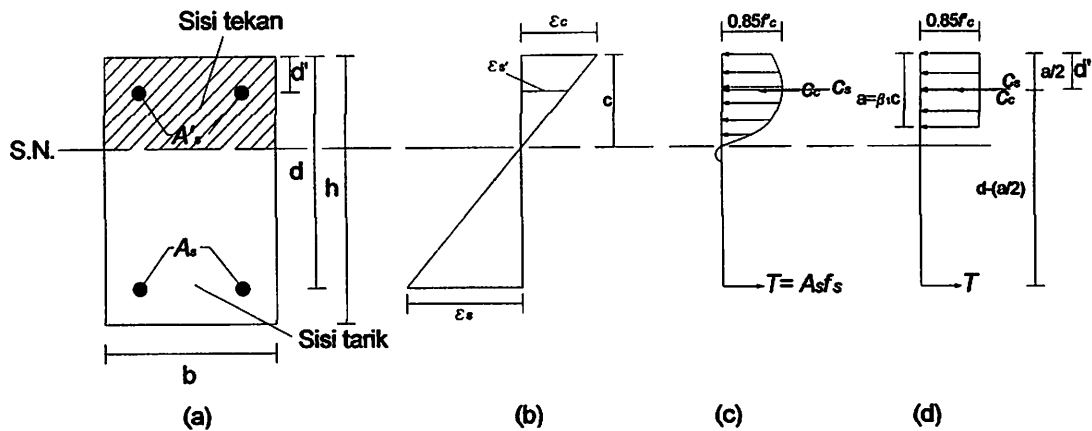
Dimana :

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

$$T = A_s f_y$$

Sehingga rumus kesetimbangan menjadi :

$$0.85 f'_c ba = A_s f_y$$



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 :

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

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 :

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

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

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

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

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 (mm²)

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)

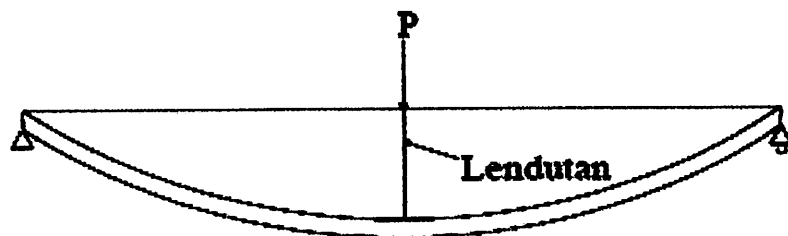
f_y = kekuatan leleh tulangan tarik (Mpa)

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

2.4. Defleksi

2.4.1. Hubungan Beban dan Defleksi

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 *Defleksi* Balok

Hubungan beban-*defleksi* suatu balok beton bertulang pada dasarnya adalah *trilinier* 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

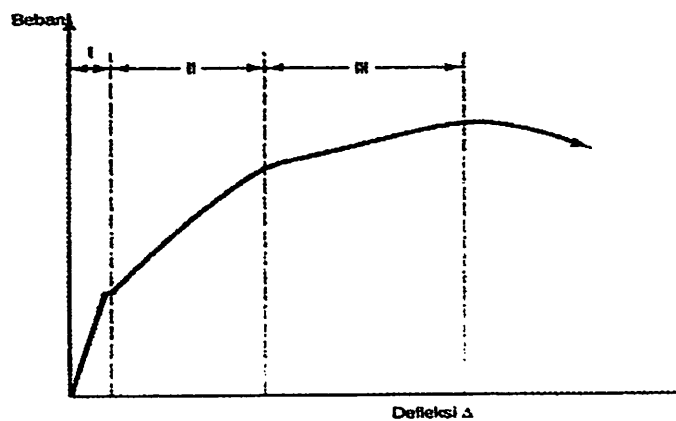
Segmen praretak dari kurva beban-*defleksi* pada dasarnya merupakan sebuah garis lurus yang menentukan perilaku elastis penuhnya. Tegangan tarik maksimum dalam balok di daerah ini lebih kecil dari kekuatan tariknya terhadap lentur, yaitu lebih kecil dari modulus runtuh beton (f_r).

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.

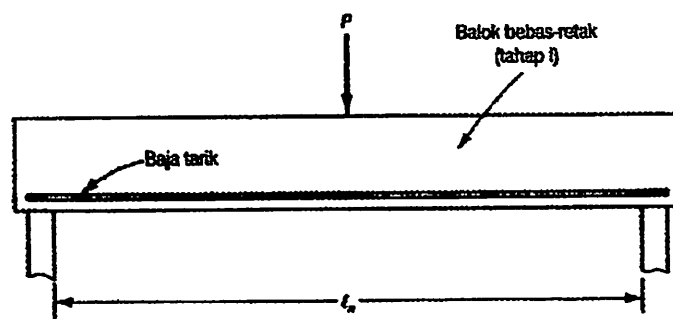
2. Tahap Pasca Retak : Daerah II

Daerah praretak berakhir pada permulaan retak yang pertama dan bergerak kedalam daerah II dari diagram beban-*defleksi*. 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 *defleksi* di setiap penampang.



Gambar 2.3 Hubungan beban-*defleksi* 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-*defleksi* 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 pelepasan 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 *Defleksi*

Peraturan ACI mensyaratkan bahwa *defleksi* yang dihitung untuk suatu balok atau slab satu arah harus memenuhi persyaratan kemampuan layanan *defleksi* 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 *defleksi* tidak dihitung

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

Sumber : SNI-03-2847-2002

Tabel 2.2 Lentutan izin maksimum

Jenis komponen struktur	Lentutan yang diperhitungkan	Batasan lentutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lentutan yang besar	Lentutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{l^a}{180}$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lentutan yang besar	Lentutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{l}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lentutan yang besar.	Bagian dari lentutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lentutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja dan lentutan 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 lentutan yang besar.	Bagian dari lentutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lentutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja dan lentutan seketika akibat penambahan beban hidup) ^c	$\frac{l^d}{240}$

- 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.
- b. Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.
- 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.
- 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.

Sumber : SNI-03-2847-2002

2.4.4. Analisa Defleksi

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

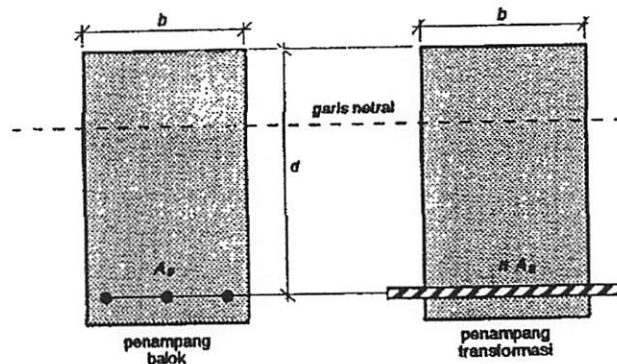
I_g = momen inersia gros ($I_g = bh^3/12$)

$y_t = h/2$, 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 :

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

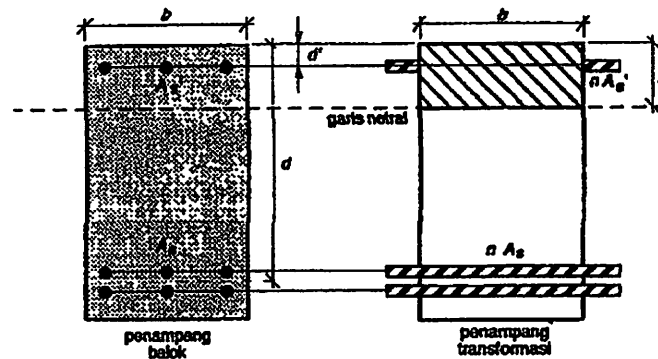
$$E_c = (W_c)^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ atau } E_c = (4700) \sqrt{f'_c}$$

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

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

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

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

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

dimana :

M = momen yang bekerja tepat pada penampang yang ditinjau

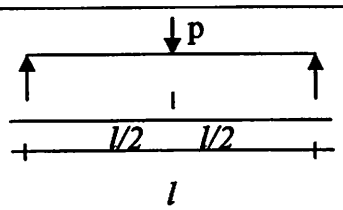
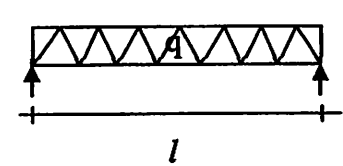
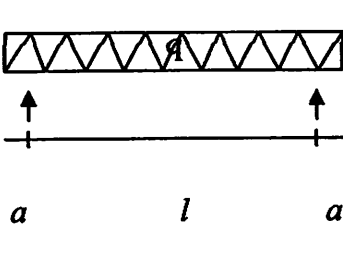
M_a = momen maksimum pada komponen struktur saat lendutan dihitung

I_g = momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang seluruh batang tulangan diabaikan

I_{cr} = momen inersia efektif

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

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

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

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).

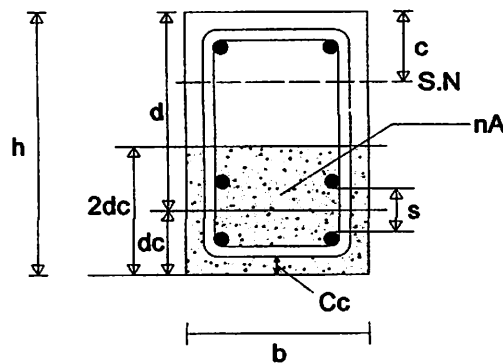
d_c = ketebalan penutup, diukur dari serat tarik tertepi ke sumbu batang baja tulangan yang terdekat, (mm).

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 tertepi 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 $P_{Ultimit}$ 187 KN mengalami lendutan sebesar 5,32 mm.

Dengan kata lain penggunaan tulangan CRT mempunyai kuat lentur $P_{ultimate}$ berbeda -43,85% dan lendutan berbeda -43,46%.Maka dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan penggunaan tulangan CRT mengalami lendutan yang lebih besar dari pada tulangan BJTP.

b. Nurul Latifah (2007)

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

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

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

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

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan bulan Juli 2011.

1. Laboratorium Struktur dan Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang
2. Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang
3. Laboratorium Struktur Universitas Brawijaya Malang.

3.3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian :

1. 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.

2. Studi eksperimen, dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dan dianalisa secara statistik.

3.4. Analisis Preliminari Penelitian

Penelitian dan pengujian bahan dasar sampai pada pelaksanaan pengecoran, pembuatan benda uji serta perawatan, dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang. Penelitian dan pengujian spesimen dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Brawijaya Malang.

Pemilihan ukuran spesimen didasarkan pada kondisi dan pemodelan pengujian pembebanan balok yang ada di Laboratorium Struktur Universitas Brawijaya Malang. Sesuai dengan kondisi dan pemodelan tersebut, diperoleh ukuran spesimen yang diletakkan pada alat adalah 100 x 150 x 3000 mm.

3.5. Parameter Penelitian

3.5.1. Bahan Uji

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

1. Semen produksi PT Semen Gresik
2. Agregat kasar diambil dari daerah Malang
3. Agregat halus (pasir) diambil dari Malang

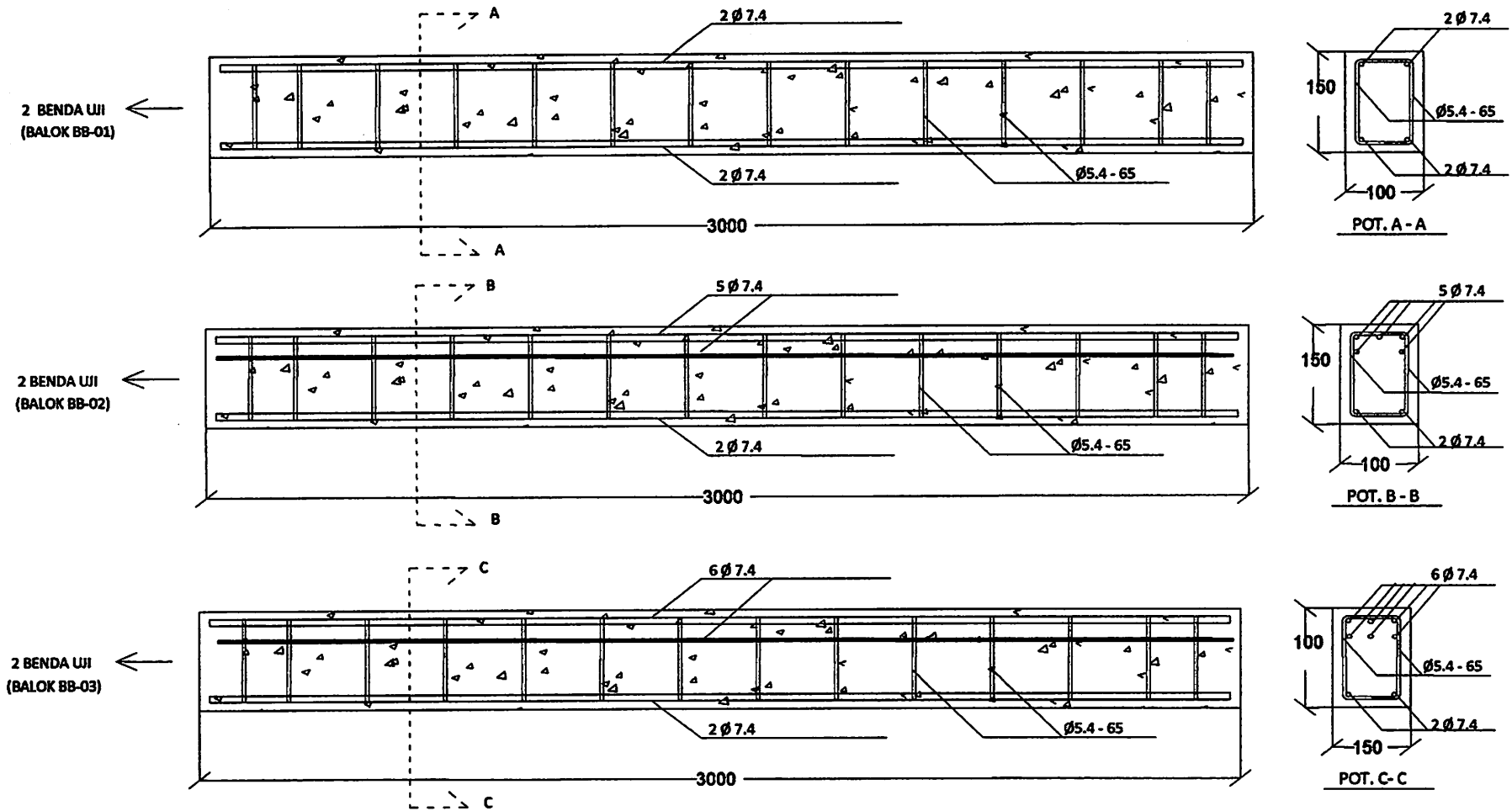
4. Air PDAM dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Intitut Teknologi Nasional Malang
5. Baja tulangan polos dengan diameter 7.4 mm untuk tulangan utama dan 5.4 mm untuk tulangan sengkang.
6. Kawat bendrat
7. Cetakan balok dengan ukuran 100 mm x 150 mm x 3000 mm

3.5.2. Benda Uji

Total benda uji yang rencana digunakan sebanyak 6 benda uji dengan ukuran seragam yaitu 100 x 150 x 3000 mm dan berupa balok beton bertulang. Benda uji yang mewakili dari populasi tersebut adalah sampel. Adapun spesifikasi dan variasi tulangan yang digunakan sebagai berikut :

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
BB-1	100x150X3000	2 Ø 7.4	2 Ø 7.4	Ø 5.4 – 65mm	-	2
BB-2	100x150X3000	2 Ø 7.4	5 Ø 7.4	Ø 5.4 – 65mm	2 lapis	2
BB-3	100x150X3000	2 Ø 7.4	6 Ø 7.47	Ø 5.4 – 65mm	2 lapis	2
					Total	6

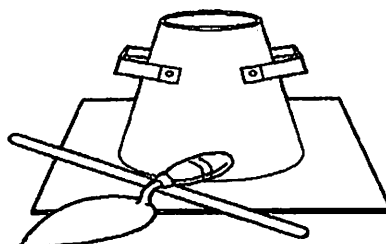


Gambar 3.1 Sketsa tipe benda uji

3.6. Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*), dengan kapasitas 0,15 m³.
- b. Tongkat pemadat, dengan ukuran diameter 16 mm dan panjang 0.6 m. Digunakan untuk memadatkan adukan beton di dalam cetakan, sehingga didapatkan beton yang padat dan tidak keropos.
- c. Kerucut Abrams, terbuat dari pelat baja berbentuk kerucut berlubang dengan diameter lubang atas 10 cm dan diameter lubang bawah 20 cm serta tinggi 30 cm. Alat ini dilengkapi dengan alas plat baja dan tongkat baja diameter 16 mm, panjang 60 cm sebagai alat pemadat. Kerucut Abrams digunakan untuk pengujian nilai slump dari suatu adukan beton saat pengecoran.



Gambar 3.2. Peralatan Slump Test

- d. Cetakan balok berukuran lebar 10 cm, tinggi 15 cm dan panjang 300 cm.
- e. Cetakan benda uji mortar.
- f. Gelas ukur

- g. Seperangkat saringan dan timbangan.
- h. Alat pemotong tulangan
- i. Alat pembengkok tulangan (bending)
- j. *Proving ring* kapasitas 5 ton alat ukur dongkrak hidrolik
- k. Alat uji tekan beton.
- l. *LVDT* alat untuk mengukur lendutan.
- m. Crack detector alat pengukur lebar retak
- n. MVD Amplifier alat baca digital LVDT
- o. Hydraulic jack alat tekan transversal
- p. Frame alat dudukan benda uji
- q. Kamera digunakan untuk dokumentasi penelitian.

3.7. Tahapan Pelaksanaan Eksperimen

3.7.1. 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 grafiti*)
 - 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.

3.7.2. 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 per meter kubik beton.
 - g. Menghitung kebutuhan pasir
2. Langkah-langkah pembuatan benda uji silinder
 - a. Melakukan penimbangan bahan-bahan, seperti : semen, pasir, kerikil, sesuai dengan kebutuhan rencana campuran adukan beton.
 - b. Memasukan semen, pasir, kerikil, air sedikit demi sedikit kedalam molen, kemudian molen dihidupkan \pm 20 menit. Pada

saat molen mulai berputar diusahakan selalu dalam keadaan miring sekitar 45^0 , 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 sempel uji.

3. Langkah-langkah pembuatan balok uji

- a. Pembuatan benda uji balok dengan tiga variasi, yang pertama merupakan balok normal dengan tulangan tarik $2\text{Ø}7.4$ dan tekan $2\text{Ø}7.4$ sebanyak 2 buah, yang kedua balok dengan variasi tulangan tarik $2\text{Ø}7.4$ dan tulangan tekan $5\text{Ø}7.4$ sebanyak 2 buah,

dan yang ketiga balok dengan variasi tulangan tarik 2Ø7.4 dan tekan 6Ø7.4 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 diisi 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

3.7.3. 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 3 kali ,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.

3.7.4. Proses Pengujian

Pengujian kuat tekan, kuat lentur dilakukan pada umur 28 hari serta kuat tarik tulangan.

a. Pengujian Kuat Tarik Tulangan

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

b. Pengujian Kuat Tekan Silinder

Pengujian kuat 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.

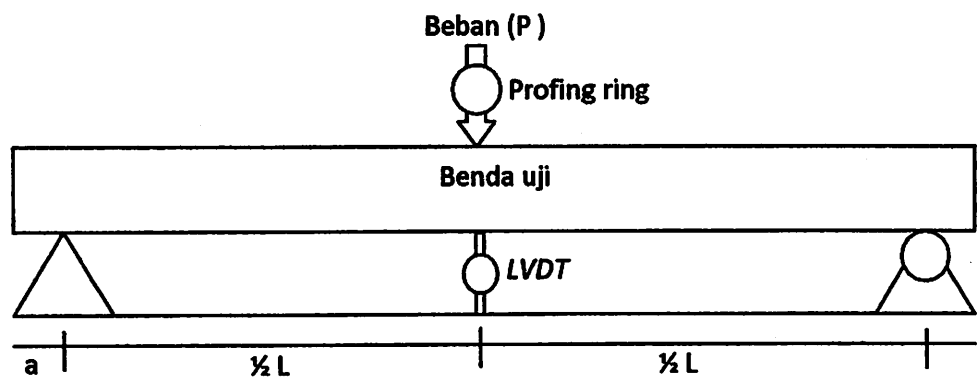
Kuat tekan beton dapat diketahui dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang didesak.

c. Pengujian Kuat Lentur

Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Benda uji diletakan pada frame dan diberikan mesin pemberi gaya transversal dengan kekuatan maksimum 5 ton dengan perlakuan sendi dan rol.
2. Pengujian siap dilakukan. Gaya/beban diberikan secara perlahan-lahan atau pada bacaan pada proving ring pada kelipatan 2 (dua) dengan beban awal 65.4 Kg/menit dan lanjutkan dengan beban konstan, beban dinaikkan secara berangsur-angsur seperti pada tabel pengujian pembebanan lendutan. hingga pada batas tertentu sampai pada tegangan maksimum, sehingga benda uji akan mengalami retak, lendutan maksimum dan patah.
3. Pembacaan dan pengamatan retak yang terjadi ditandai pada waktu proving ring menunjukkan angka kelipatan 2 saat pengujian, sehingga retakan yang terjadi dapat terekam dengan baik menurut jenjang-jenjang prosesi pemberian

beban dilakukan. Sehingga lendutan dan beban-beban dicatat agar bisa diperoleh hubungan dengan retakan yang terjadi. Setelah batas tegangan maksimum dilakukan pembacaan lebar retak dengan alat Crak Detektor dan mengukur panjang retak maksimumnya.



Gambar 3.3 proses pengujian lendutan

3.8 Laporan yang akan dikerjakan

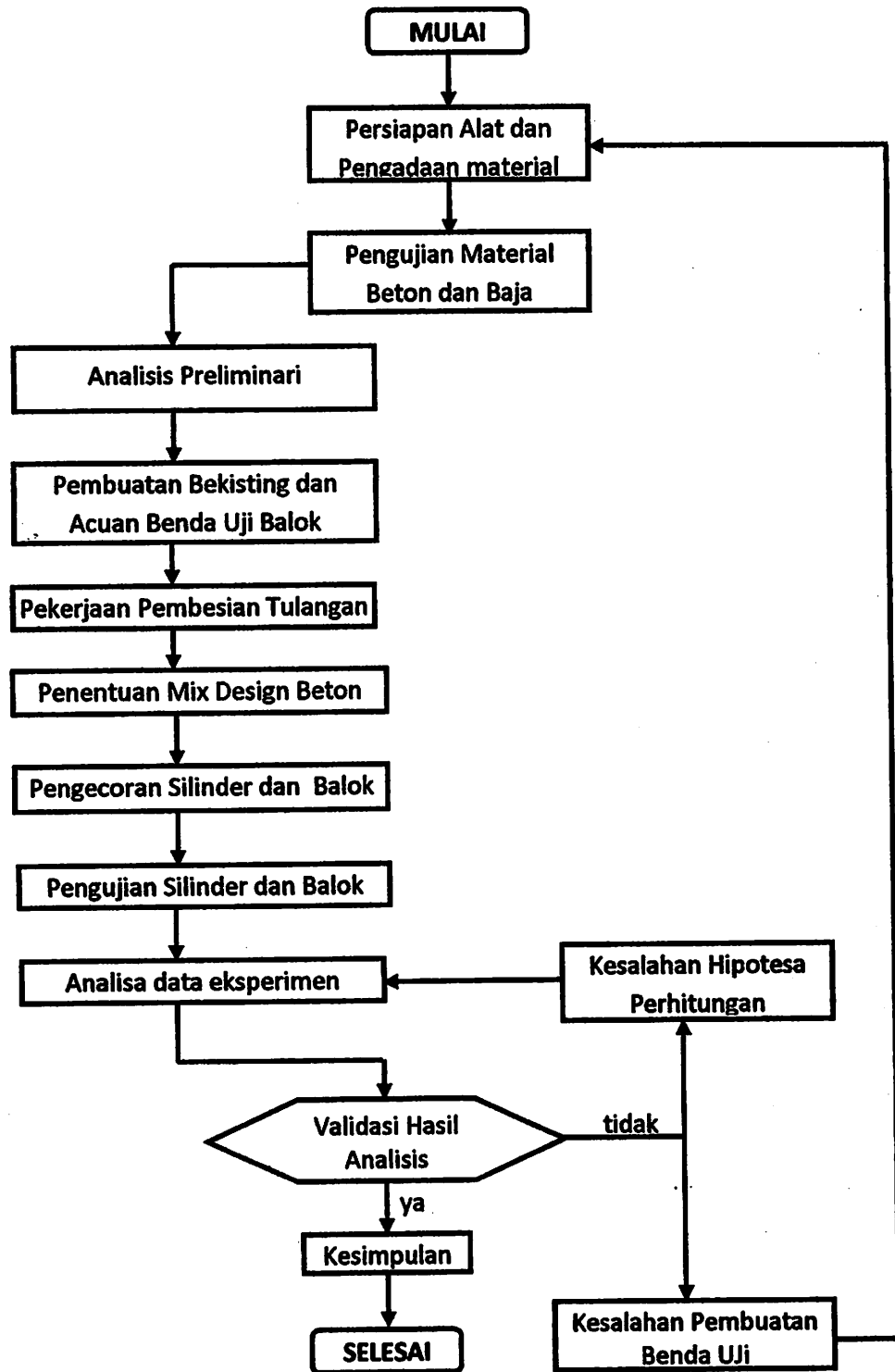
Pada tahap ini dilakukan pengolahan dan analisa data. Analisa terhadap data hasil eksperimen meliputi pengkajian terhadap *defleksi* serta model retak yang terjadi selama pembebanan.

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

1. Pengaruh penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik $2\emptyset 7,4$ dan tekan $2\emptyset 7,4$ balok variasi 2 tulangan tarik $2\emptyset 7,4$ tekan $5\emptyset 7,4$ dan balok variasi 3 tulangan tarik $2\emptyset 7,4$ dan tekan $6\emptyset 7,4$ terhadap *defleksi* (Δ) hasil eksperimen.

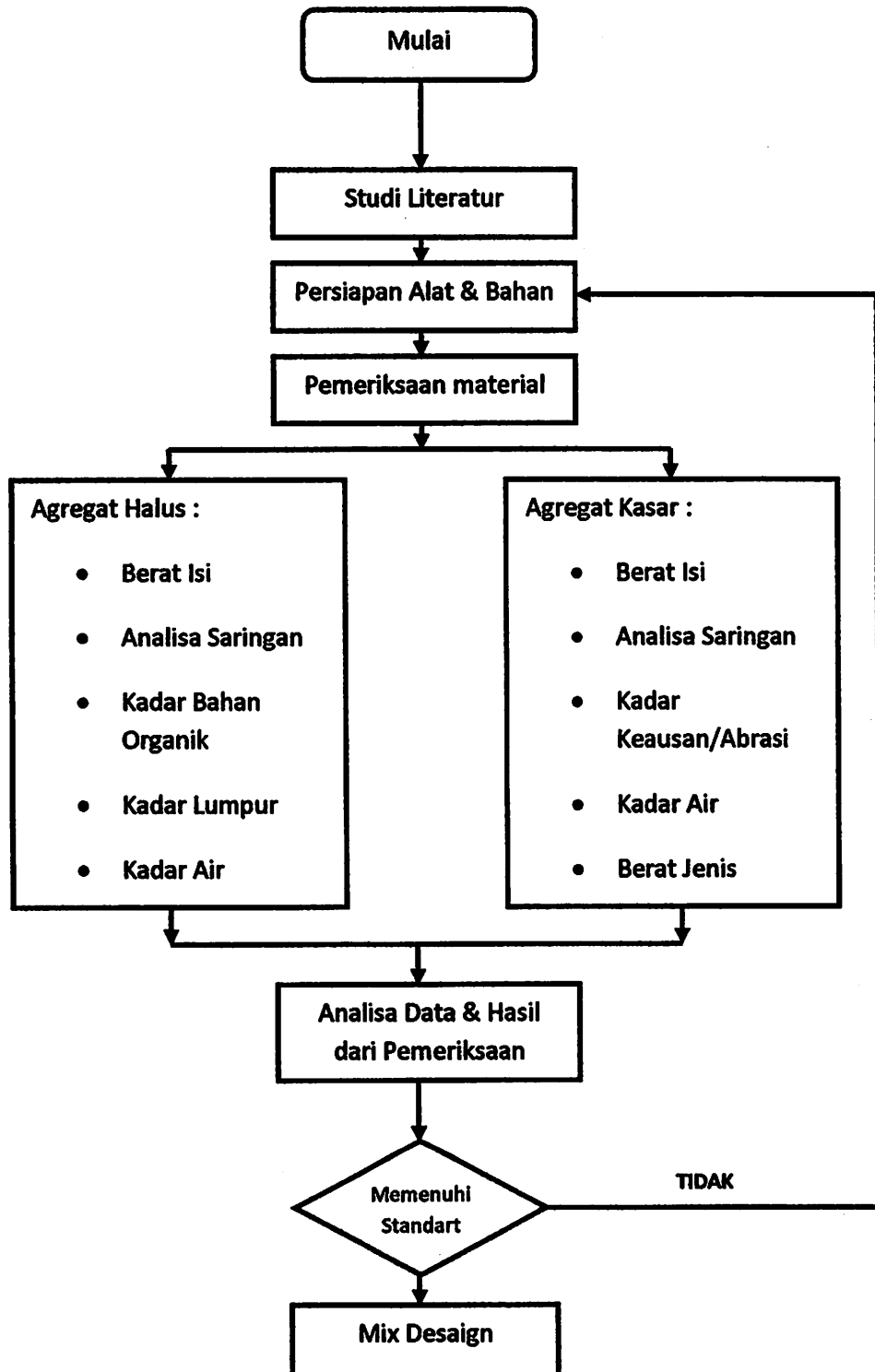
2. Pengaruh penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 2 tulangan tarik 2Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 3 tulangan tarik 2Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4 terhadap *defleksi* (Δ) hasil analitis teori.
3. Pengaruh penambahan tulangan pada balok normal bertulangan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

3.9 Bagan Alir Proses Penelitian



Gambar 3.10 Bagan alir rencana penelitian

3.10 Bagan Alir Pengujian Material Beton



Gambar 3.11 Bagan alir pengujian material

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hasil

Data hasil penelitian dibagi menjadi lima bagian sebagai berikut :

1. Data campuran beton.
2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder beton.
3. Data dan perhitungan kuat tarik baja.
4. Analisis teoritis

Yang terdiri dari;

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

4.1.1. Data campuran beton

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

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

Tabel 4.1 Proporsi campuran beton hasil mix design

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

4.1.2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder beton

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standard SNI 03-1974-1990 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Alat uji tekan yang digunakan adalah *Universal Testing 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. 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 beton	Berat (kg)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Luas permukaan (mm ²) $1/4\pi d^2$	Beban maksimum (N)	Kuat tekan (Mpa) (g/f)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
1	M-1	12.58	300	150	17.671,46	580000	32,82
2	M-2	12.58	300	150	17.671,46	525000	29,71
3	M-3	12,57	300	150	17.671,46	480000	27,16
4	M-4	12,69	300	150	17.671,46	700000	39,61
5	M-5	12,66	300	150	17.671,46	580000	32,82
6	M-6	12,64	300	150	17.671,46	540000	30,56
7	M-7	12,49	300	150	17.671,46	620000	35,08
8	M-8	12,74	300	150	17.671,46	540000	30,56
9	M-9	12,81	300	150	17.671,46	655000	37,07
10	M-10	12,44	300	150	17.671,46	500000	28,29
11	M-11	12,59	300	150	17.671,46	460000	26,03
12	M-12	12,44	300	150	17.671,46	580000	32,82
13	M-13	12,42	300	150	17.671,46	520000	29,43
14	M-14	11,96	300	150	17.671,46	435000	24,62
15	M-15	12.38	300	150	17.671,46	445000	25,18
16	M-16	12.04	300	150	17.671,46	470000	26,60
17	M-17	11,91	300	150	17.671,46	315000	17,83
18	M-18	12,01	300	150	17.671,46	400000	22,64
19	M-19	12.72	300	150	17.671,46	680000	38,48
20	M-20	12.60	300	150	17.671,46	480000	27,16
Kuat tekan rata-rata beton							29,71

Kuat tekan mutu beton yang diperoleh dari hasil pengujian di dapat kuat tekan rata-rata sebesar 29.71 Mpa. Untuk perhitungan yang digunakan dalam penelitian kami yang berjudul PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 2Ø7.4 (Variasi Tulangan tekan 2Ø7.4 , 5Ø7.4 Dan 6 Ø 7.4) menggunakan mutu beton 29.71 Mpa.

4.1.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja

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

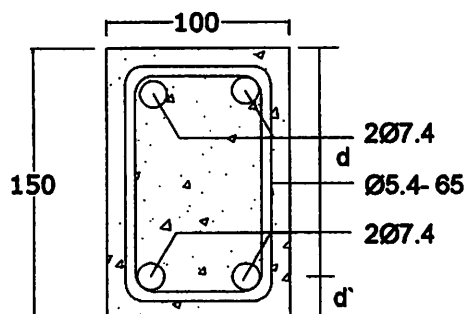
Tabel 4.3 Pemeriksaan mutu baja

No.	Specimen Ø 5.4	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (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 7.4	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	

4.2. Analisis Teoritis

4.2.1. Kontrol momen

4.2.1.1. Balok normal

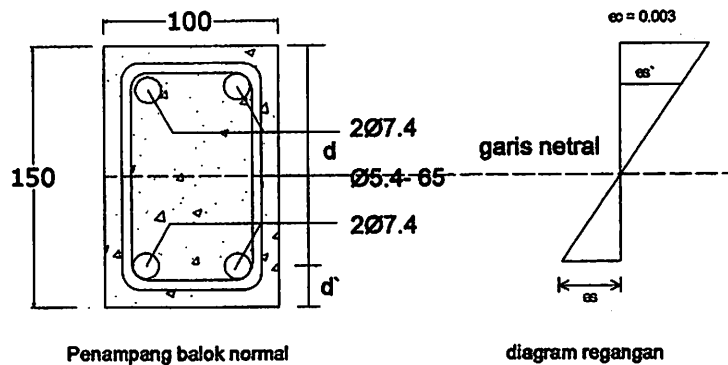


Gambar 4.1 Penampang balok normal

Data benda uji :

- Type : Beton bertulang
 - Dimensi : 100 mm x 150 mm x 3000 mm
 - Mutu beton (f'_c) : 29.71 MPa.
 - Mutu baja \varnothing 7.4 (f_y) : 403.62 MPa.
 - Mutu baja \varnothing 5.4 (f_y) : 370.28 MPa.
 - Tulangan utama : \varnothing 7.4 mm
 - Tulangan sengkang : \varnothing 5.4 mm
 - Selimut beton : 10 mm
 - Modulus elastis baja (E_s) : 200000 MPa. (SNI-03-2847-2002, Pasal 10.5.2, Hal. 54)
 - Regangan mak. beton (ϵ'_c) : 0.003 (SNI-03-2847-2002, Pasal 12.2.3, Hal. 69)
 - Tul. tarik $A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 86.02 \text{ mm}^2$
 - Tul. tekan $A'_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 86.02 \text{ mm}^2$
 - $d' = 10 + 5.4 + (1/2 \cdot 7.4) = 19.1 \text{ mm}$
 - $d = 150 - 19.1 = 130.9 \text{ mm}$
 - β_1 (faktor reduksi tinggi balok tegangan tekan ekivalen beton) = 0.85
- faktor β_1 diambil sebesar 0.85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f'_c lebih kecil daripada atau sama dengan 30 Mpa.

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



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

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

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

$$T_s = A_s \times f_y$$

Sehingga untuk mendapatkan nilai c digunakan persamaan sebagai berikut :

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

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

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

Maka :

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

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

$$T_s = A_s \times f_y$$

Kontrol $\Sigma H = 0$

$$T_s = Cc + C_s$$

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

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 :

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

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

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

$$\begin{array}{rclclcl} 34732.078c & = & 2147.27c^2 & + & 51630.857c & - & 986149.37 \\ 0 & = & 2147.27c^2 & + & 16898.780c & - & 986149.37 \\ 0 & = & c^2 & + & 7.870c & - & 459.257 \end{array} : 2147.27$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

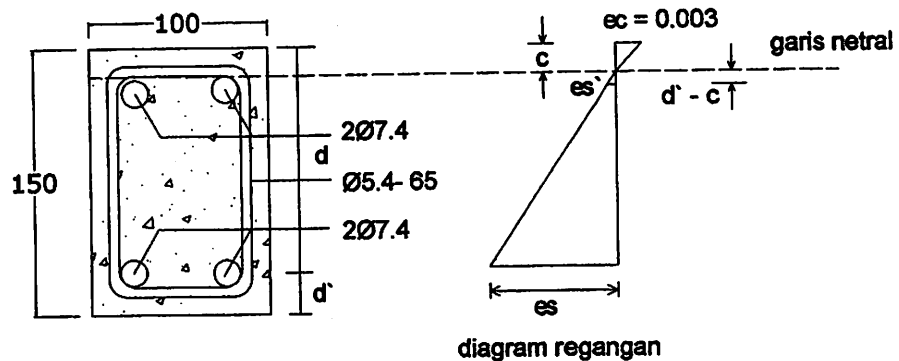
$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-7.870 \pm \sqrt{7.870^2 - (4 \times 1 \times -459.257)}}{2 \times 1}$$

$$c = 17.85 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$c = -25.72 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

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



Gambar 4.3 Model diagram regangan tulangan

Kontrol $\Sigma H = 0$

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

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

Sehingga :

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

Maka :

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

$$86.02 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (86.02 \times c \times 600) - (86.02 \times 19.1 \times 600)$$

$$\begin{aligned} 34732.078c &= 2147.27c^2 + 51630.857c - 986149.37 \\ 0 &= 2147.27c^2 + 16898.780c - 986149.37 \\ 0 &= \frac{2147.27c^2 + 16898.780c - 986149.37}{c^2 + 7.870c - 459.257} : 2147.27 \end{aligned}$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$c = \frac{7.870 \pm \sqrt{7.870^2 - (4 \times 1 \times 450.257)}}{2 \times 1}$$

$c = 17.85$ mm (memenuhi)

$c = -25.72$ mm (tidak memenuhi)

Maka asumsi di atas benar letak garis netral berada di atas tulangan tekan

Regangan tulangan yang terjadi.

$$\begin{aligned} \epsilon'_s &= \frac{d' - c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{19.1 - 17.85}{17.85} \cdot 0,003 = 0.00021 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{130.9 - 17.85}{17.85} \cdot 0,003 \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{403.62}{200.000} \\ &= 0,00201 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_s &= \epsilon'_s \cdot E_s \\ &= \frac{(d' - c)}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{(d' - c)}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\ &= \frac{(d' - c)}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{(19.1 - 17.85)}{17.85} \cdot 600 \end{aligned}$$

$$= 42.016 \text{ Mpa} < f_y = 403.62 \text{ Mpa}$$

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 17.85 = 15.18 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

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

$$C_c = 0.85(29.71) \times 15.18 \times 100 \times 10^{-3} = 38.34 \text{ kN.}$$

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

$$T_s' = 86.02 \times 42.016 \times 10^{-3} = 3.62 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = 86.02 \times 403.62 \times 10^{-3} = 34.719 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$T_s + T_s' = C_c$$

$$34.72 + 3.62 = 38.34$$

$$38.34 \text{ kN} = 38.34 \text{ kN}$$

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 :

$$Z_1 = d - \frac{1}{2}a = 130.90 - \frac{1}{2}(15.18) = 123.310 \text{ mm}$$

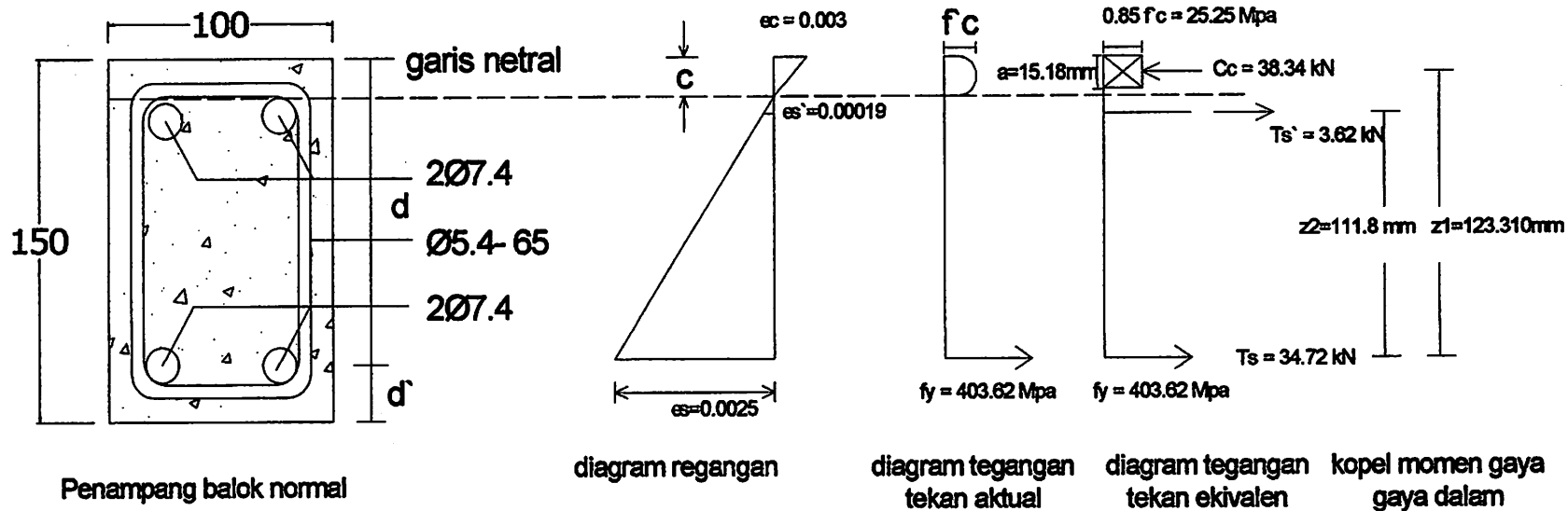
$$Z_2 = d - d' = 130.90 - 19.1 = 111.8 \text{ mm}$$

Nilai moment :

$$Mn = Cc * Z_1 - Ts' * Z_2$$

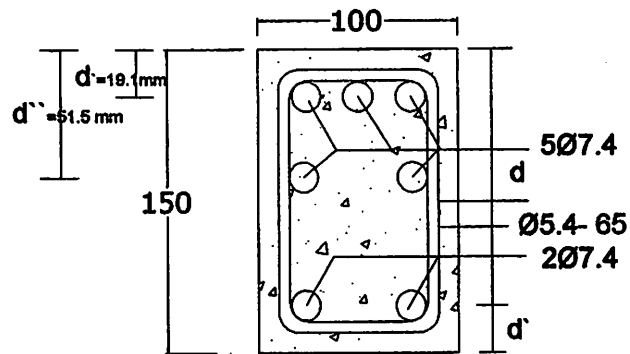
$$Mn = (38.34 \times 123.310 \times 10^{-3}) - (3.62 \times 111.8 \times 10^{-3})$$

$$Mn = 4.728 - 0.405 = 4.322 \text{ kNm} = 0.432 \text{ Tonm.}$$



Gambar 4.4 Diagram regangan dan tegangan balok normal

4.2.1.2. Balok variasi 2



Gambar 4.5 Penampang balok variasi 2

Data benda uji :

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

- Luas tulangan utama :

$$A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 86.016 \text{ mm}^2$$

$$A'_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.025 \text{ mm}^2$$

$$A''_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 86.016 \text{ mm}^2$$

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

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

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

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

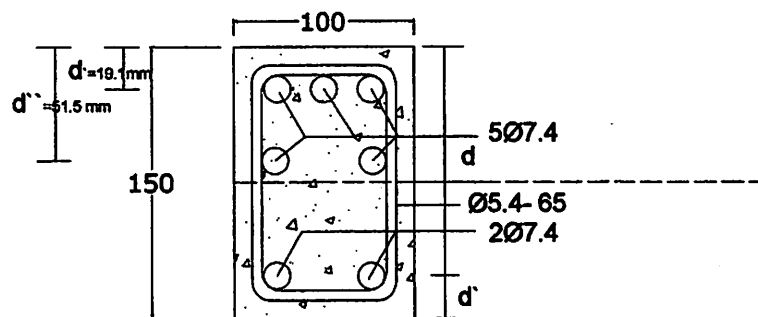
- β_1 (faktor reduksi tinggi balok tegangan tekan ekivalen beton) = 0.85

faktor β_1 diambil sebesar 0.85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f_c

lebih kecil daripada atau sama dengan 30 Mpa.

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

maka :



Penampang balok variasi 2

Gambar 4.6 Penampang balok variasi 2 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik

Kontrol moment

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

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

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

$$T_s = A_s \times f_y$$

Karena :

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

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

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

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 :

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

Maka :

$$A_s \times f_y \times c = (0.85f'_c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A's \times (c-d') \times 500) + (A's \times (c-d'') \times 600)$$

$$86.016 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (129.025 \times c \times 600) - (129.025 \times 19.1 \times 600) + (86.016 \times c \times 600) - (86.016 \times 51.5 \times 600)$$

$$\begin{array}{rclclcl} 34717.77c & = & 2147.27c^2 & + & 129024.6c & - & 4136520.9 \\ 0 & = & 2147.27c^2 & + & 94306.83c & - & 4136520.9 \\ 0 & = & c^2 & + & 43.910c & - & 1926.005 \end{array} : 2147.72$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

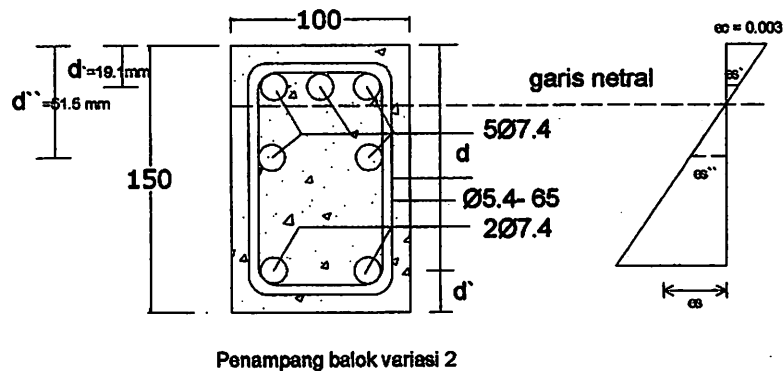
$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-43.910 \pm \sqrt{43.910^2 - 4 \times 1 \times -1926.005}}{2 \times 1}$$

$$c = 27.12 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$c = -71.03 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

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



Gambar 4.7 Penampang balok variasi 2 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan

Kontrol $\Sigma H = 0$

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

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

Sehingga :

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

Maka :

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

$$(86.016 \times 403.62 \times c) - (86.016 \times c \times 600) + (86.016 \times 51.5 \times 600) = (0.85 \times$$

$$29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (129.025 \times c \times 600) - (129.025 \times 19.1 \times 600)$$

$$\begin{array}{rclclcl} 34717.77c & = & 2147.27c^2 & + & 129024.6c & - & 4136520.9 \\ 0 & = & 2147.27c^2 & + & 94306.83c & - & 4136520.9 \\ 0 & = & c^2 & + & 43.910c & - & 1926.005 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ \\ 2147.72 \end{array}$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$c = \frac{-43.910 \pm \sqrt{43.910^2 - 4 \times 1 \times -1926.005}}{2 \times 1}$$

$c = 27.12$ mm (memenuhi)

$c = -71.03$ mm (tidak memenuhi)

Maka asumsi di atas benar letak garis netral berada diantara tulangan tekan

Regangan tulangan yang terjadi.

$$\begin{aligned} \varepsilon'_s &= \frac{r-d'}{c} \cdot \varepsilon_c \\ &= \frac{27.12-19.1}{27.12} \cdot 0,003 = 0.0008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon''_s &= \frac{d''-c}{c} \cdot \varepsilon_c \\ &= \frac{51.5-27.12}{27.12} \cdot 0,003 = 0.00269 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot \varepsilon_c \\ &= \frac{130.9-27.12}{27.12} \cdot 0,003 = 0.011 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \frac{fy}{Es} \\ &= \frac{403.62}{200.000} \\ &= 0,00201 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f's &= \varepsilon's \cdot Es \\
 &= \frac{(c-d')}{c} \cdot \varepsilon c \cdot Es \\
 &= \frac{(c-d')}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\
 &= \frac{(c-d')}{c} \cdot 600 \\
 &= \frac{(27.12-19.1)}{27.12} \cdot 600 = 177.43 \text{ Mpa} < 403.62 \text{ Mpa (belum leleh)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f's &= \varepsilon's \cdot Es \\
 &= \frac{(d''-c)}{c} \cdot \varepsilon c \cdot Es \\
 &= \frac{(d''-c)}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\
 &= \frac{(d''-c)}{c} \cdot 600 \\
 &= \frac{(51.5-27.12)}{27.12} \cdot 600 = 539.380 \text{ Mpa} > 403.62 \text{ Mpa (sudah leleh)}
 \end{aligned}$$

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 27.12 = 23.052 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

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

$$C_c = 0.85(29.72) \times 23.052 \times 100 \times 10^{-3} = 58.233 \text{ kN.}$$

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

$$C_s' = 129.025 \times \left(\frac{27.12 - 19.1}{27.12} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 22.89 \text{ kN}$$

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

$$T_s'' = 86.016 \times \left(\frac{51.5 - 27.12}{27.12} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 46.396 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = 86.016 \times 403.62 \times 10^{-3} = 34.72 \text{ kN}$$

Kontrol :

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

$$34.72 + 46.396 = 58.23 + 22.89$$

$$81.12 \text{ kN} = 81.12 \text{ kN}$$

Lengan moment :

Dimana :

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

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

Maka :

$$Z_1 = d - 1/2a = 130.90 - \frac{1}{2}(23.052) = 119.374 \text{ mm}$$

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

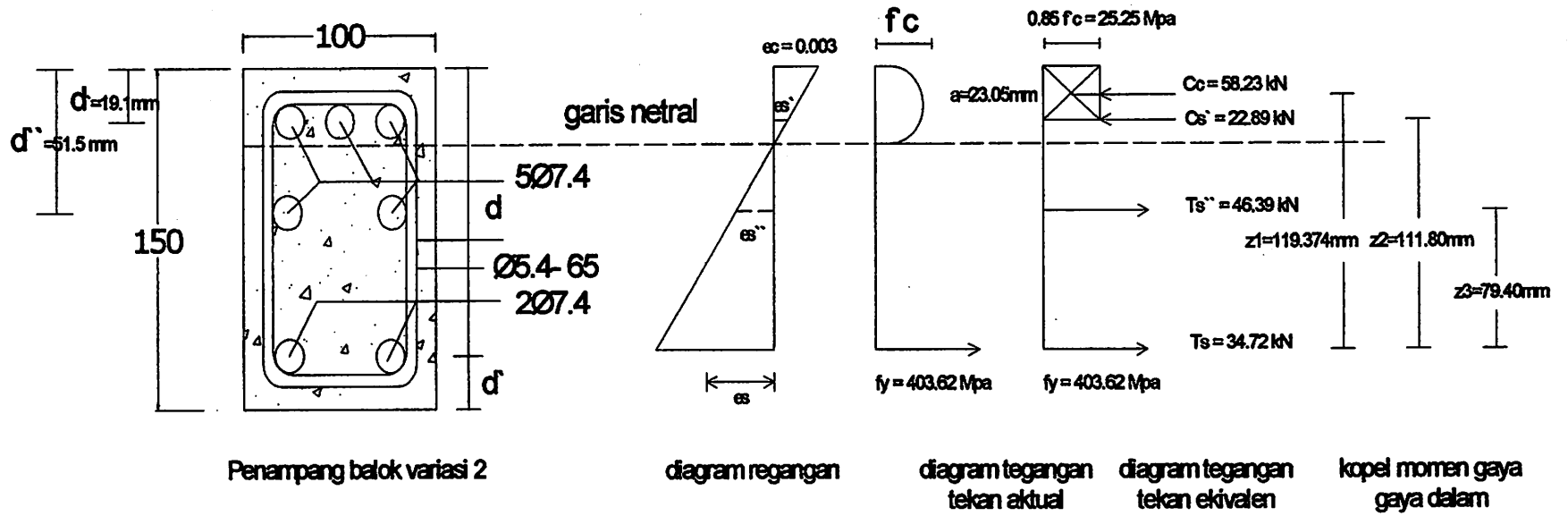
$$Z_3 = d - d'' = 130.90 - 51.5 = 79.40 \text{ mm}$$

Nilai moment :

$$M_n = C_c * Z_1 + C_s * Z_2 - T_s'' * Z_3$$

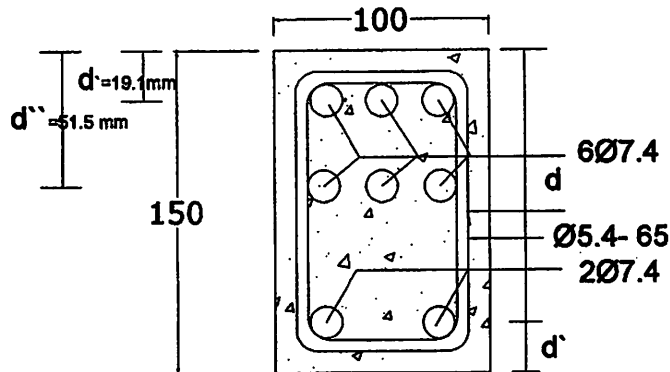
$$M_n = (58.23 \times 119.374 \times 10^{-3}) + (22.89 \times 111.8 \times 10^{-3}) - (46.396 \times 79.40 \times 10^{-3})$$

$$M_n = 6.951 + 2.559 - 3.683 = 5.827 \text{ kNm} = 0.583 \text{ Tonm.}$$



Gambar 4.8 Diagram regangan dan tegangan balok variasi 2

4.2.1.3. Balok variasi 3



Gambar 4.9 Penampang balok variasi 3

Data benda uji :

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

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

$$A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 86.016 \text{ mm}^2$$

$$A's/A's = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.025 \text{ mm}^2$$

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

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

$$d'' = d_{\text{selimut}} + \phi_{\text{sengkan}} + \phi_{\text{tul.utama}} + d_{\text{Tul.Sengkan}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.utama}}$$

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

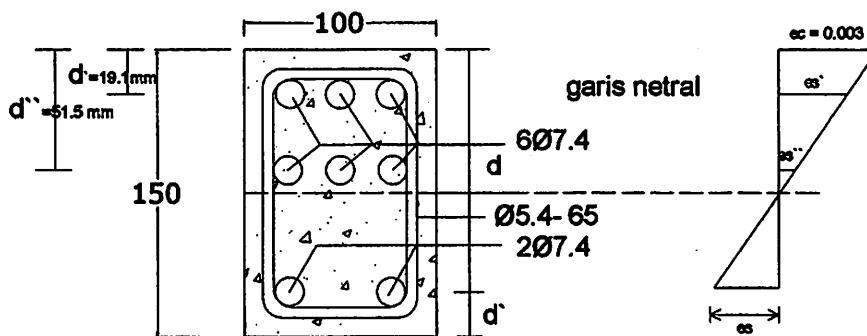
- β_1 (faktor reduksi tinggi balok tegangan tekan ekivalen beton) = 0.85

faktor β_1 diambil sebesar 0.85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f_c

lebih kecil daripada atau sama dengan 30 Mpa.

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

maka :



Gambar 4.10 Penampang balok variasi 3 asumsi garis netral berada diantara

tulangan tekan dan tulangan tarik

Kontrol moment

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

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

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

$$T_s = A_s \times f_y$$

Karena :

$$\frac{\epsilon'_s}{\epsilon'_c} = \frac{c-d'}{c} \rightarrow \epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} \times \epsilon'_c \quad , \quad x = \beta_1 \times c$$

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

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

Maka :

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

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

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

$$T_s = A_s \times f_y$$

Kontrol $\Sigma H = 0$

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

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

Sehingga :

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

Maka :

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

$$86.016 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (129.025 \times c \times 600) - ($$

$$129.025 \times 19.1 \times 600) + (129.025 \times c \times 600) - (129.025 \times 51.5 \times 600)$$

$$\begin{array}{rclclcl} 34717.77c & = & 2147.27c^2 & + & 154830c & - & 5465499 \\ 0 & = & 2147.27c^2 & + & 120112.23c & - & 5465499 \\ 0 & = & c^2 & + & 55.937c & - & 2545.324 \end{array} : 2147.27$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

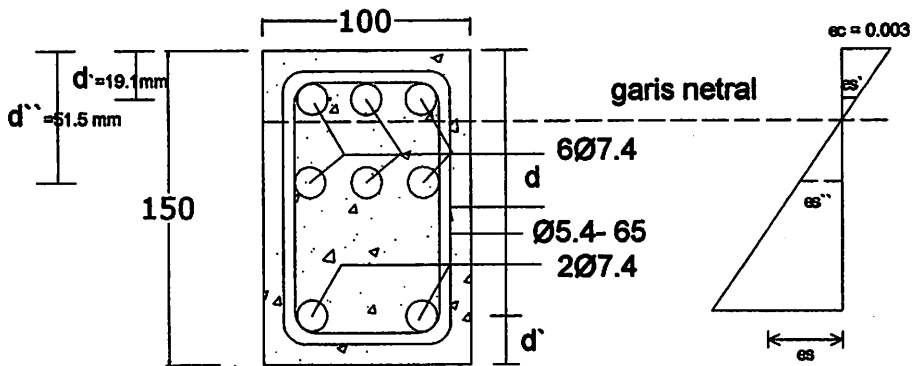
$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-55.937 \pm \sqrt{55.937^2 - 4 \times 1 \times -2545.324}}{2 \times 1}$$

$$c = 29.72 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$c = -85.65 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

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



Gambar 4.11 Penampang balok variasi 3 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan

Kontrol $\Sigma H = 0$

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

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

Sehingga :

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

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

Maka :

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

$$86.016 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (129.025 \times c \times 600) - ($$

$$129.025 \times 19.1 \times 600) + (129.025 \times c \times 600) - (129.025 \times 51.5 \times 600)$$

$$\begin{array}{rclclcl} 34717.77c & = & 2147.27c^2 & + & 154830c & - & 5465499 \\ 0 & = & 2147.27c^2 & + & 120112.23c & - & 5465499 \\ 0 & = & c^2 & + & 55.937c & - & 2545.324 & : 2147.27 \end{array}$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$c = \frac{-55.937 \pm \sqrt{55.937^2 - 4 \cdot 1 \cdot -2545.324}}{2 \cdot 1}$$

$$c = 29.72 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$c = -85.65 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

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

Regangan tulangan yang terjadi.

$$\begin{aligned} \epsilon'_s &= \frac{s-d'}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{29.72-17.85}{27.12} \cdot 0,003 = 0.001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon''_s &= \frac{x''-c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{51.5-29.72}{29.72} \cdot 0,003 = 0.00219 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{130.9-29.72}{29.72} \cdot 0,003 = 0.0102 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{403.62}{200.000} \\ &= 0,00201 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f's &= \varepsilon's \cdot Es \\
 &= \frac{(c-d')}{c} \cdot \varepsilon c \cdot Es \\
 &= \frac{(c-d')}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\
 &= \frac{(c-d')}{c} \cdot 600 \\
 &= \frac{(29.72-19.1)}{29.72} \cdot 600 = 214.401 \text{ Mpa} < 403.62 \text{ Mpa (belum leleh)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f's &= \varepsilon's \cdot Es \\
 &= \frac{(d''-c)}{e} \cdot \varepsilon c \cdot Es \\
 &= \frac{(d''-c)}{e} \times 0,003 \times 200.000 \\
 &= \frac{(d''-c)}{e} \cdot 600 \\
 &= \frac{(51.5-29.72)}{29.72} \cdot 600 = 439.703 \text{ Mpa} > 403.62 \text{ Mpa (sudah leleh)}
 \end{aligned}$$

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 29.72 = 25.25 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

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

$$C_c = 0.85(29.72) \times 25.25 \times 100 \times 10^{-3} = 63.786 \text{ kN}$$

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

$$C_s = 129.025 \times \left(\frac{29.72 - 19.1}{29.72} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 27.663 \text{ kN}$$

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

$$T_{s''} = 129.025 \times \left(\frac{51.5 - 29.72}{29.72} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 56.733 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = 86.016 \times 403.62 \times 10^{-3} = 34.719 \text{ kN}$$

Kontrol :

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

$$34.719 + 56.732 = 63.786 + 27.663$$

$$91.449 \text{ kN} = 91.449 \text{ kN}$$

Lengan moment :

Dimana :

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

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

Maka :

$$Z_1 = d - 1/2a = 130.90 - \frac{1}{2}(25.25) = 118.275 \text{ mm}$$

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

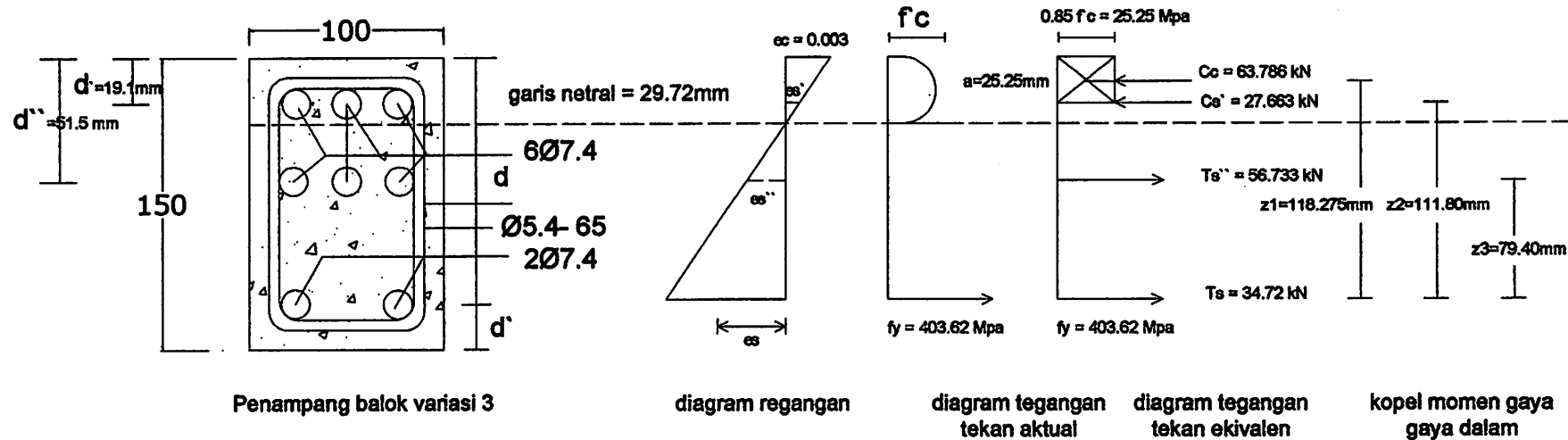
$$Z_3 = d - d'' = 130.90 - 51.5 = 79.40 \text{ mm}$$

Nilai moment :

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

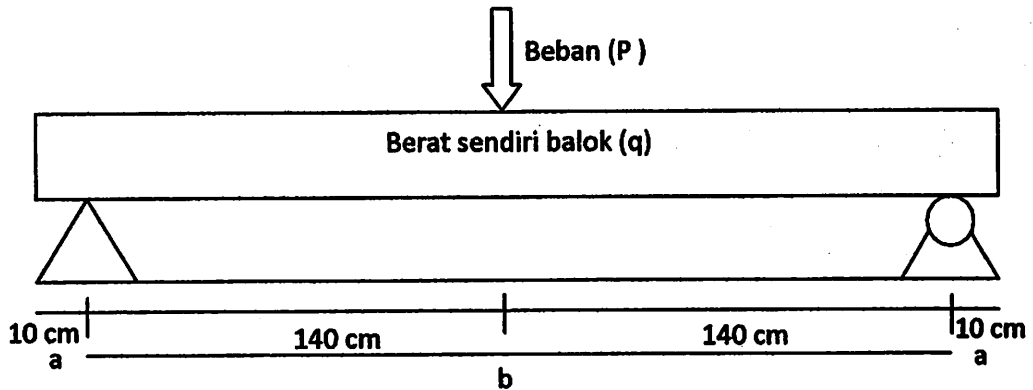
$$Mn = (63.786 \times 118.275 \times 10^{-3}) + (27.663 \times 111.8 \times 10^{-3}) - (56.732 \times 79.40 \times 10^{-3})$$

$$Mn = 7.544 + 3.092 - 4.504 = 6.132 \text{ kNm} = 0.613 \text{ Tonm.}$$



Gambar 4.12 Diagram regangan dan tegangan balok variasi 3

4.2.2 Perhitungan beban (P)



Gambar 4.13 Sketsa penempatan balok saat pengujian

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

Dimana :

$$\text{Berat jenis beton} = 23.5 \text{ kN/m}^3 \quad \text{Faktor reduksi beban : Mati} = 1.2$$

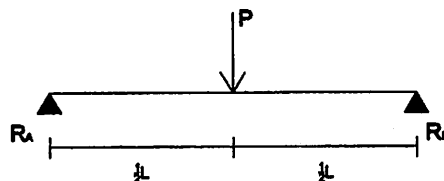
$$q = (b \cdot h) \cdot \text{berat jenis beton} \quad \text{Hidup} = 1.6$$

$$q = (0.10 \times 0.15) \times 23.5 \quad \text{Faktor reduksi kekuatan } (\phi) = 0.8$$

$$q = 0.353 \text{ kN/m} \quad l = 3 \text{ m} = 3000 \text{ mm} \quad l_n = 2.8 \text{ m} = 2800 \text{ mm}$$

maka :

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



Gambar 4.14 sketsa pembebanan terpusat

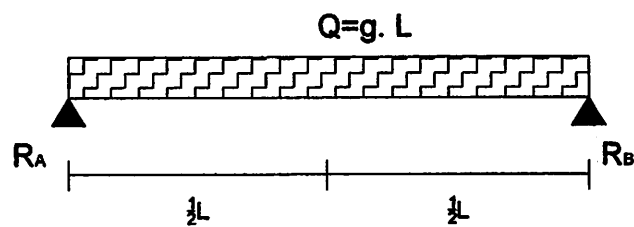
$$R_A = P/2$$

$$M_A = R_A \times (L/2)$$

$$= (P/2) \times (L/2)$$

$$= (1/4) \times P \times L \text{ (Momen maksimum pada beban terpusat)}$$

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



Gambar 4.15 sketsa pembebanan merata

$$M_x = R_A \cdot x - q \cdot x \cdot 1/2 x$$

$$= \frac{q \cdot L}{2} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

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

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

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

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

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

$$= \frac{1}{8} q L^2$$

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

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

Moment ultimate :

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

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

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

Sehingga :

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

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

Hitungan balok normal :

$$Mn \text{ normal} = 4.322 \text{ kNm.}$$

$$P = -\frac{(0.15 \times 0.353 \cdot 2.8^2)}{0.4 \times 2.8} + \frac{0.8 \times 4.322}{0.4 \times 2.8}$$

$$P = -0.371 + 3.087$$

$$P = 2.716 \text{ kN} = 0.277 \text{ Ton}$$

Maka, beban maksimum teoritis untuk balok normal adalah 0.277 Ton.

Untuk perhitungan lainnya ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.4 Analisis teoritis untuk pembebanan maksimum

No	Benda uji	Mn (Knm)	a (m)	b (m)	L/Ln (m)	q (kn/m)	Pmaks (Kn)	Pmaks (ton)
1	Normal 1	4,322	0,1	2,8	2,8	0,353	2,716	0,277
2	BB-2	5,827	0,1	2,8	2,8	0,353	3,791	0,386
2	BB-3	6,132	0,1	2,8	2,8	0,353	4,009	0,409

4.2.3 Perhitungan lebar retak

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

Yaitu :

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \beta f_s^2 \sqrt{d_c A}$$

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

$$\begin{aligned} b &= 100 \text{ mm} & \varnothing_{\text{Tul. utama}} &= 7.4 \text{ mm} \\ h &= 150 \text{ mm} & \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} &= 5.4 \text{ mm} \\ f_y &= 403.62 \text{ MPa} & d_{\text{selimut}} &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$B = (h-c)/(d-c)$$

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

Dimana :

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

Jumlah tulangan baja daerah tarik = 2 buah

Maka :

$$A = \frac{100 \times 38.2}{2} = 1910 \text{ mm}^2$$

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

Tabel.4.5 Analisis teoritis retak

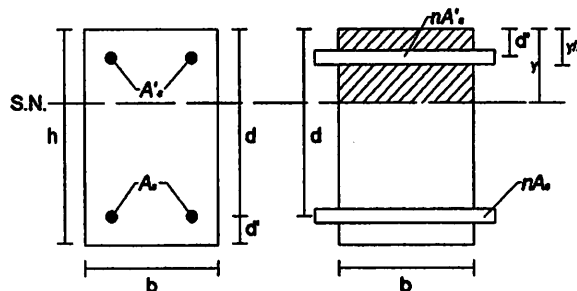
No.	Benda uji	f_y (Mpa)	f_s (Mpa)	b (mm)	h (mm)	d (mm)	c (mm)	β	dc (mm)	A (mm ²)	ω (mm)
1	Normal	403,62	242,172	100	150	130,9	17,85	1,169	19,1	1910,00	0,1029
2	BB-2	403,62	242,172	100	150	130,9	27,12	1,184	19,1	1910,00	0,1042
3	BB-3	403,62	242,172	100	150	130,9	29,72	1,189	19,1	1910,00	0,1047

4.2.4 Letak garis netral penampang transformasi

Data perhitungan :

$$\begin{array}{ll}
 h & = 150 \text{ mm} & \phi_{\text{Tul. sengkang}} & = 5.4 \text{ mm} \\
 b & = 100 \text{ mm} & \phi_{\text{Tul. utama}} & = 7.4 \text{ mm} \\
 d_{\text{selimut}} & = 10 \text{ mm} & E_s & = 200000 \text{ Mpa}
 \end{array}$$

- Balok Normal



Gambar 4.16 Penampang transformasi balok normal

Dimana luasan tulangan balok antara daerah tarik dan tekan sama:

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

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

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

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 :

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

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{29.71} = 25618.233 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25618.233} = 7.8069$$

$$1/2(100)y^2 + 7.8069 * 86.02 * y - 7.8069 * 86.02 * 19.1 - 7.8069 * 86.02 * 130.9 +$$

$$7.8069 * 86.02 * y = 0$$

$$50y^2 + 671.549y - 12826.596 - 87905.834 + 671.549y = 0$$

$$50y^2 + 1343.098y - 100732.43 = 0$$

$$\frac{y^2 + 26.861y - 2014.648}{: 50} = 0$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

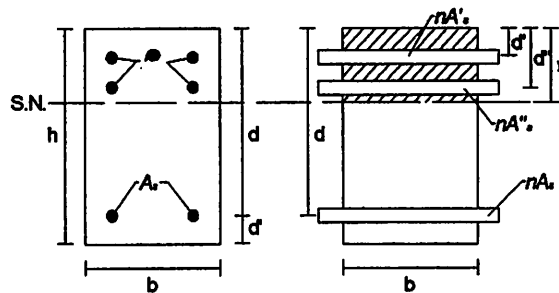
$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{26.861 \pm \sqrt{26.861^2 - (4 \times 1 \times 2014.648)}}{2 \times 1}$$

$$y = 33.421 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$y = -60.28 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

- **Balok variasi 2**



Gambar 4.17 Penampang transformasi balok variasi 2

Dimana luasan tulangan daerah tekan dan daerah tarik :

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

$$A'_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.025 \text{ mm}^2$$

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

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

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

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

Letak garis netral :

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

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

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

Maka :

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

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{29.71} = 25618.233 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25618.233} = 7.8069$$

$$\frac{1}{2}(100)y^2 + 7.8069 \cdot 129.025 \cdot y - 7.8069 \cdot 129.025 \cdot 19.1 - 7.8069 \cdot 86.02 \cdot 130.9$$

$$+ 7.8069 \cdot 86.02 \cdot y + 7.8069 \cdot 86.02 \cdot y - 7.8069 \cdot 86.02 \cdot 51.5 = 0$$

$$50y^2 + 1007.285y - 19239.148 - 87905.834 + 671.549y + 671.549y -$$

$$34584.801 = 0$$

$$50y^2 + 2350.383y - 141729.783 = 0$$

$$\frac{y^2 + 47.007y - 2834.595}{50} = 0$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

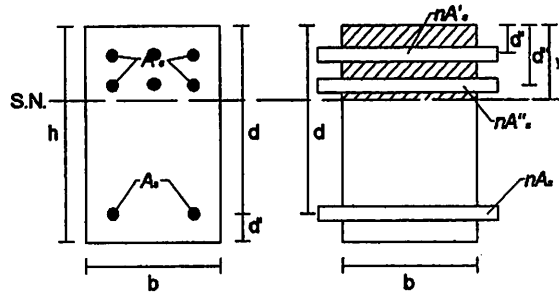
$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-47.007 \pm \sqrt{47.007^2 - (4 \times 1 \times -2834.595)}}{2 \times 1}$$

$$y = 34.695 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$y = -81.70 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

- Balok variasi 3



Gambar 4.18 Penampang transformasi balok variasi 3

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

$$A'_s / A''_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.025 \text{ mm}^2$$

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

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

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

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

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

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

Letak garis netral :

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

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

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

Maka :

a. Balok variasi 3 dengan nilai kuat tekan ($f'_c = 29.71$ MPa) :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{29.71} = 25618.233 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25618.233} = 7.8069$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(100)y^2 + 7.8069 \cdot 129.025 \cdot y - 7.8069 \cdot 129.025 \cdot 19.1 - \\ & 7.8069 \cdot 86.02 \cdot 130.9 + 7.8069 \cdot 86.02 \cdot y + 7.8069 \cdot 129.025 \cdot y - \\ & 7.8069 \cdot 129.025 \cdot 51.5 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 50y^2 + 1007.285y - 19239.148 - 87905.834 + 671.393y + 1007.285y - \\ & 51875.191 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 50y^2 + 2685.963y - 159020.173 = 0 \\ & \frac{y^2 + 53.719y - 3180.403 = 0}{: 50} \end{aligned}$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

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

$$y = \frac{53.719 \pm \sqrt{53.719^2 - (4 \times 1 \times 3180.403)}}{2 \times 1}$$

$$y = 35.605 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$y = -89.32 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

4.2.5 Momen inersia penampang retak transformasi

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

- Untuk balok normal

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

- Untuk balok variasi 1 dan variasi 2

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

Data dan hasil perhitungan :

Tabel 4.6 Momen Inersia Penampang retak Transformasi Teoritis

No	Benda uji	n	As (mm ²)	A's (mm ²)	As'' (mm ²)	b (mm)	d (mm)	d' (mm)	d'' (mm)	y (mm)	I _{cr} (mm ⁴)
1	Normal 1	7,807	86,05	86,05	-	100	130,90	19,1	-	33,421	7747875,59
2	BB-2	7,807	86,05	129,08	86,05	100	130,90	19,1	51,5	34,695	7988871,31
3	BB-3	7,807	86,05	129,08	129,08	100	130,90	19,1	51,5	35,605	8066469,71

4.2.6 Momen inersia penampang utuh (I_g)

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

$$I_g = bh^3 / 12$$

Dimana :

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

maka :

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

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

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

Moment retak dihitung berdasarkan rumus :

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

Dimana :

$$f_r = 0.7 \sqrt{f_c'} = 0.7 \sqrt{29.71} = 3.816$$

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

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

$$M_{cr} = \frac{3.816 \times 28125000}{75} = 1430832.36 \text{ Nmm}$$

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

$$P \text{ retak awal} = \frac{4 \cdot 1430832.36}{2800} - \frac{1}{2} * 0.383 * 2800$$

$$= 1549.85 \text{ N}$$

$$= 157.99 \text{ Kg}$$

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.7 Momen Inersia Timbul Retak Pertama Kali

No	Benda uji	f_c' (MPa)	f_r (MPa)	L (mm)	I_g (mm ⁴)	h (mm)	Y_t (mm)	M_{cr} (Nmm)	P retak pertama (N)	P retak pertama (Kg)
1	Normal 1	29,71	3,816	2800	28125000	150	75	1430832,36	1549,85	157,99
2	BB-2	29,71	3,816	2800	28125000	150	75	1430832,36	1549,85	157,99
3	BB-3	29,71	3,816	2800	28125000	150	75	1430832,36	1549,85	157,99

4.2.8 Moment inersia efektif (I_e)

Moment inersia efektif dihitung berdasarkan rumus :

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

Dimana :

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

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

Penyelesaian untuk balok normal :

$$I_e = \left(\frac{1430832.363}{2247485.00}\right)^3 \cdot 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1430832.36}{2247485.00}\right)^3\right] 7747875.580$$

$$I_e = 13005853.47 \text{ mm}^4$$

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel 13.

4.2.9 Lendutan (Δ_{maks})

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

berdasarkan rumus :

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

Maka, untuk hitungan adalah :

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

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

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

$$\Delta = \frac{2716.49(2800)^3}{48 \times 25618.71 \times 13005853.5} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.71 \times 13005853.5}$$

$$\Delta = 4,577 \text{ mm}$$

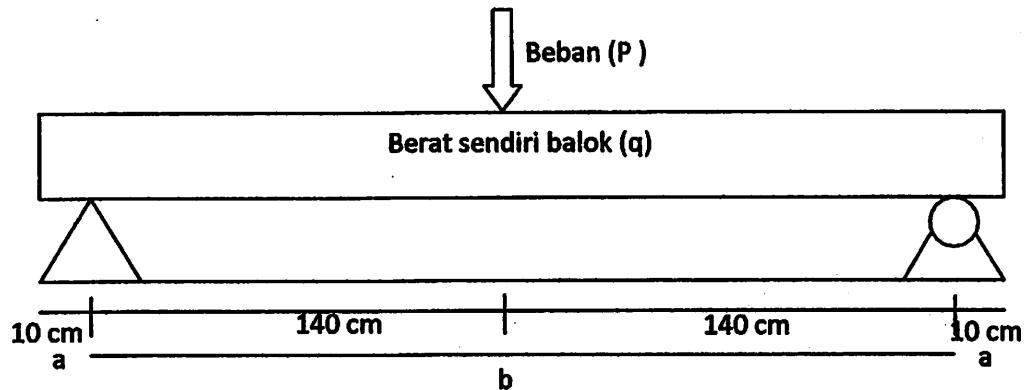
Adapun hasil perhitungan lainnya kami tampilkan pada table.14.

Tabel 4.8 Hasil Analisis Lendutan (Δ) Teoritis

No	Benda uji	$L_n = b$ (mm)	a (mm)	q (n/mm)	P (N)	E_c (Mpa)	I_e (mm ⁴)	Δ (mm)
1	Normal 1	2800	100	0,353	2.716,49	25.618,71	13005853,47	4,577
3	BB-2	2800	100	0,353	3.791,49	25.618,71	10173537,02	7,737
5	BB-3	2800	100	0,353	4.009,35	25.618,71	9941923,148	8,308

Tabel 4.9 Hasil Analisis Momen Inersia Efektif (I_e) Akibat berat Sendiri dan Beban Terpusat Teoritis

No	Benda uji	$L_n = b$ (mm)	a (mm)	q (n/mm)	P (N)	Ma (Nmm)	E_c (Mpa)	M_{cr} (Nmm)	I_g (mm ⁴)	I_{cr} (mm ⁴)	I_e (mm ⁴)
1	Normal 1	2800	100	0,353	2.716,49	2.247.485,00	25.618,71	1.430.832,363	28.125.000	7.747.875,59	13005853,5
3	BB-2	2800	100	0,353	3.791,49	2.999.985,00	25.618,71	1.430.832,363	28.125.000	7.988.871,31	10173537,0
5	BB-3	2800	100	0,353	4.009,35	3.152.485,00	25.618,71	1.430.832,363	28.125.000	8.066.469,71	9941923,1



Gambar 4.19 Sketsa penempatan balok saat pengujian

1. Lendutan Balok Teoritis

a. Balok normal dengan berat sendiri.

Dengan kondisi balok hanya menerima beban sendiri belum mengalami retak, hal ini dapat dilihat pada tabel 16 bahwa, $M_a = 345940,00 \text{ Nmm} < M_{cr} = 1430832.36 \text{ Nmm}$, maka perhitungan lendutan pada balok Menggunakan Inersia penampang utuh (I_g)

Data perhitungan :

$$E_c = 25618.7 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1430832.36 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 7747875.588 \text{ mm}^4$$

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

Maka, untuk hitungan adalah :

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

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

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

maka :

karena balok belum mengalami retak maka $I_{\text{inersia efektif}} = I_{\text{inersia gross}}$

$$I_g = 28125000.00 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

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

$$\Delta = \frac{5 \cdot 0.353 \cdot 2800^5}{384 \cdot 25618.7 \cdot 28125000}$$

$$= 0,392 \text{ mm}$$

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

Dengan kondisi balok menerima beban $P = 1544.094 \text{ N}$, belum mengalami

retak, hal ini dapat dilihat pada tabel 16 bahwa, $M_a = 1426805,80 \text{ Nmm} <$

$M_{cr} = 14310046.383 \text{ Nmm}$, maka perhitungan lendutan pada balok

Menggunakan Inersia penampang utuh (I_g)

Data perhitungan :

$$E_c = 25618.7 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1430832.36 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 7747875.588 \text{ mm}^4$$

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

Maka, untuk hitungan adalah :

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

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

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

maka :

karena balok belum mengalami retak maka $I_{\text{inersia efektif}} = I_{\text{inersia gross}}$

$$I_g = 28125000.00 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

$$\Delta = \frac{P \times (Lm)^2}{48 \times E_c \times I_y} + \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E_c \times I_y}$$

$$\Delta = \frac{1544,094 \times (2800)^2}{48 \times 25618,7 \times 28125000} + \frac{5 \times 0,353 \times 2800^4}{384 \times 25618,7 \times 28125000}$$

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

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

Dengan kondisi balok menerima beban $P = 3800.394 \text{ N}$ Sudah mengalami

retak, hal ini dapat dilihat pada tabel 16 bahwa, $M_a = 3006215,80 \text{ Nmm} >$

$M_{cr} = 1431046,383 \text{ Nmm}$, Maka perhitungan lendutan pada balok

Menggunakan Inersia efektif (I_e)

Data perhitungan :

$$E_c = 25618,7 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1430832,36 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 7747875,588 \text{ mm}^4$$

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

Maka, untuk hitungan adalah :

$$q = 0,353 \text{ N/mm}$$

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

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

$$P = 3800,394 \text{ N}$$

maka :

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

$$= 1/8 \times 0,353 \times 2800^2 + (1/4) \times 3800,394 \times 2800 = 3004450,80 \text{ Nmm}$$

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

$$I_e = \left(\frac{1430832.36}{3006215.80} \right)^3 \times 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1430832.36}{3006215.80} \right)^3 \right] \times 7747875.588$$

$$I_e = 9944969.91 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

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

$$\Delta = \frac{3800.394 \cdot (2800)^3}{48 \cdot 25618.7 \cdot 9944969.91} + \frac{3.353 \cdot 2800^4}{384 \cdot 25618.7 \cdot 9944969.91}$$

$$= 7.931 \text{ mm}$$

Perhitungan diatas digunakan juga pada perhitungan balok untuk variasi balok 2 dan variasi balok 3.

Tabel 4.10 Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) balok normal

No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	q (n/mm)	a (mm)	l (mm)	M (Nmm)	M_{cr} (Nmm)	I_{cr} (mm ⁴)	I_g (mm ⁴)	I_c (mm ⁴)	E_c (Mpa)	Δ Teoritis (mm)	Δ batas Retak (mm)	Δ Batas Runtuh (mm)
1	0	0	0,353	100	2800	345940,00	1430832,36	7747875,588	28125000	28125000,00	25618,71	0,392	0,392	1,423
2	65,4	641,574	0,353	100	2800	795041,80	1430832,36	7747875,588	28125000	28125000,00	25618,71	0,799	0,799	2,902
3	111,4	1092,834	0,353	100	2800	1110923,80	1430832,36	7747875,588	28125000	28125000,00	25618,71	1,086	1,086	3,941
4	157,4	1544,094	0,353	100	2800	1426805,80	1430832,36	7747875,588	28125000	28125000,00	25618,71	1,372	1,372	4,981
5	157,99	1549,846	0,353	100	2800	1430832,36	1430832,36	7747875,588	28125000	28125000,00	25618,71	1,376	1,376	4,994
6	203,4	1995,354	0,353	100	2800	1742687,80	1430832,36	7747875,588	28125000	19026350,76	25618,71	2,452	1,659	6,021
7	249,4	2446,614	0,353	100	2800	2058569,80	1430832,36	7747875,588	28125000	14590337,19	25618,71	3,749	1,945	7,060
8	295,4	2897,874	0,353	100	2800	2374451,80	1430832,36	7747875,588	28125000	12206686,82	25618,71	5,141	2,231	8,100
9	341,4	3349,134	0,353	100	2800	2690333,80	1430832,36	7747875,588	28125000	10813300,32	25618,71	6,549	2,518	9,140
10	387,4	3800,394	0,353	100	2800	3006215,80	1430832,36	7747875,588	28125000	9944969,91	25618,71	7,931	2,804	10,180
11	433,4	4251,654	0,353	100	2800	3322097,80	1430832,36	7747875,588	28125000	9375941,26	25618,71	9,271	3,091	11,219
12	479,4	4702,914	0,353	100	2800	3637979,80	1430832,36	7747875,588	28125000	8987609,01	25618,71	10,568	3,377	12,259
13	525,4	5154,174	0,353	100	2800	3953861,80	1430832,36	7747875,588	28125000	8713581,09	25618,71	11,825	3,664	13,299
14	571,4	5605,434	0,353	100	2800	4269743,80	1430832,36	7747875,588	28125000	8514713,74	25618,71	13,047	3,950	14,339
15	617,4	6056,694	0,353	100	2800	4585625,80	1430832,36	7747875,588	28125000	8366907,91	25618,71	14,241	4,236	15,378
16	663,4	6507,954	0,353	100	2800	4901507,80	1430832,36	7747875,588	28125000	8254772,99	25618,71	15,410	4,523	16,418

Hasil analisa teoritis balok normal mempunyai nilai beban retak awal P sebesar 157.99 Kg dan mempunyai lendutan teoritis 1.376 mm. Hasil perhitungan lendutan sebelum retak menggunakan Inersia gross (I_g) ditandai dengan nilai $M < M_{cr}$ maka balok belum mengalami retak. Perhitungan lendutan setelah retak menggunakan Inersia kritis (I_{cr}) balok mengalami retak ditandai dengan nilai $M > M_{cr}$. Perhitungan lendutan batas retak menggunakan nilai inersia gross (I_g) dan perhitungan lendutan batas runtuh menggunakan nilai Inersia kritis (I_{cr}).

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

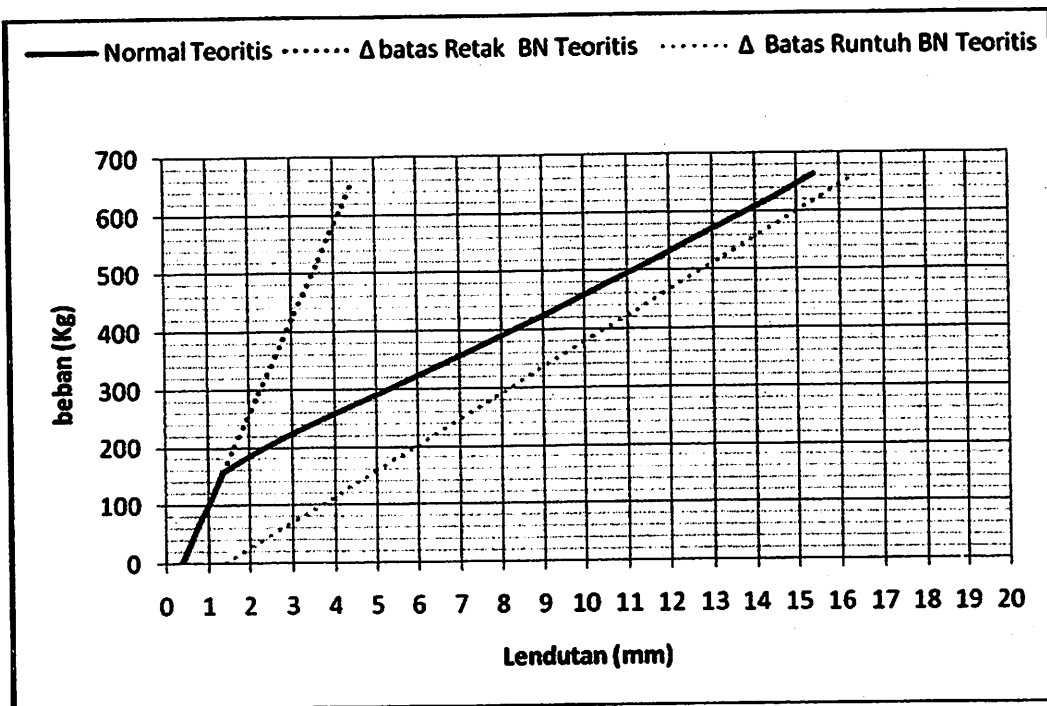
No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	q (n/mm)	a (mm)	l (mm)	M (Nmm)	M_{cr} (Nmm)	I_{cr} (mm ⁴)	I_g (mm ⁴)	I_c (mm ⁴)	E_c (Mpa)	Δ (mm)	Δ Batas retak awal (mm)	Δ Batas runtuh (mm)
1	0	0	0,353	100	2800	345940,00	1430832,36	7988871,31	28125000	28125000,00	25618,71	0,392	0,392	1,380
2	65,4	641,574	0,353	100	2800	795041,80	1430832,36	7988871,31	28125000	28125000,00	25618,71	0,799	0,799	2,814
3	111,4	1092,834	0,353	100	2800	1110923,80	1430832,36	7988871,31	28125000	28125000,00	25618,71	1,086	1,086	3,822
4	157,4	1544,094	0,353	100	2800	1426805,80	1430832,36	7988871,31	28125000	28125000,00	25618,71	1,372	1,372	4,831
5	157,99	1549,846	0,353	100	2800	1430832,36	1430832,36	7988871,31	28125000	28125000,00	25618,71	1,376	1,376	4,844
6	203,4	1995,354	0,353	100	2800	1742687,80	1430832,36	7988871,31	28125000	19133958,46	25618,71	2,438	1,659	5,839
7	249,4	2446,614	0,353	100	2800	2058569,80	1430832,36	7988871,31	28125000	14750408,64	25618,71	3,709	1,945	6,847
8	295,4	2897,874	0,353	100	2800	2374451,80	1430832,36	7988871,31	28125000	12394949,17	25618,71	5,063	2,231	7,856
9	341,4	3349,134	0,353	100	2800	2690333,80	1430832,36	7988871,31	28125000	11018041,94	25618,71	6,427	2,518	8,864
10	387,4	3800,394	0,353	100	2800	3006215,80	1430832,36	7988871,31	28125000	10159981,08	25618,71	7,763	2,804	9,873
11	433,4	4251,654	0,353	100	2800	3322097,80	1430832,36	7988871,31	28125000	9597682,21	25618,71	9,057	3,091	10,881
12	479,4	4702,914	0,353	100	2800	3637979,80	1430832,36	7988871,31	28125000	9213942,68	25618,71	10,309	3,377	11,889
13	525,4	5154,174	0,353	100	2800	3953861,80	1430832,36	7988871,31	28125000	8943155,62	25618,71	11,521	3,664	12,898
14	571,4	5605,434	0,353	100	2800	4269743,80	1430832,36	7988871,31	28125000	8746640,24	25618,71	12,701	3,950	13,906
15	617,4	6056,694	0,353	100	2800	4585625,80	1430832,36	7988871,31	28125000	8600582,47	25618,71	13,854	4,236	14,914
16	663,4	6507,954	0,353	100	2801	4903381,93	1430832,36	7988871,31	28125000	8489199,62	25618,71	15,001	4,528	15,940
17	709,4	6959,214	0,353	100	2802	5221363,78	1430832,36	7988871,31	28125000	8403243,29	25618,71	16,132	4,820	16,968

Hasil analisa teoritis balok varisai 2 mempunyai nilai beban retak awal P sebesar 157.99 Kg dan mempunyai lendutan teoritis 1.376 mm. Hasil perhitungan lendutan sebelum retak menggunakan Inersia gross (I_g) ditandai dengan nilai $M < M_{cr}$ maka balok belum mengalami retak. Perhitungan lendutan setelah retak menggunakan Inersia kritis (I_{cr}) balok mengalami retak ditandai dengan nilai $M > M_{cr}$. Perhitungan lendutan batas retak menggunakan nilai inersia gross (I_g) dan perhitungan lendutan batas runtuh menggunakan nilai Inersia kritis (I_{cr}).

Tabel 4.12 Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 3

No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	q (n/mm)	a (mm)	l (mm)	M (Nmm)	M _{cr} (Nmm)	I _{cr} (mm ⁴)	I _g (mm ⁴)	I _e (mm ⁴)	E _c (Mpa)	Δ (mm)	Δ Batas retak awal (mm)	Δ batas runtuh (mm)
1	0	0	0,353	100	2800	345940,00	1430832,36	8066469,714	28125000	28125000,00	25618,71	0,392	0,392	1,367
2	65,4	641,574	0,353	100	2800	795041,80	1430832,36	8066469,714	28125000	28125000,00	25618,71	0,799	0,799	2,787
3	111,4	1092,834	0,353	100	2800	1110923,80	1430832,36	8066469,714	28125000	28125000,00	25618,71	1,086	1,086	3,786
4	157,4	1544,094	0,353	100	2800	1426805,80	1430832,36	8066469,714	28125000	28125000,00	25618,71	1,372	1,372	4,784
5	157,99	1549,846	0,353	100	2800	1430832,36	1430832,36	8066469,714	28125000	28125000,00	25618,71	1,376	1,376	4,797
6	203,4	1995,354	0,353	100	2800	1742687,80	1430832,36	8066469,714	28125000	19168607,15	25618,71	2,434	1,659	5,783
7	249,4	2446,614	0,353	100	2800	2058569,80	1430832,36	8066469,714	28125000	14801950,17	25618,71	3,696	1,945	6,782
8	295,4	2897,874	0,353	100	2800	2374451,80	1430832,36	8066469,714	28125000	12455567,91	25618,71	5,039	2,231	7,780
9	341,4	3349,134	0,353	100	2800	2690333,80	1430832,36	8066469,714	28125000	11083966,86	25618,71	6,389	2,518	8,779
10	387,4	3800,394	0,353	100	2800	3006215,80	1430832,36	8066469,714	28125000	10229212,70	25618,71	7,710	2,804	9,778
11	433,4	4251,654	0,353	100	2800	3322097,80	1430832,36	8066469,714	28125000	9669080,76	25618,71	8,990	3,091	10,776
12	479,4	4702,914	0,353	100	2800	3637979,80	1430832,36	8066469,714	28125000	9286820,04	25618,71	10,228	3,377	11,775
13	525,4	5154,174	0,353	100	2800	3953861,80	1430832,36	8066469,714	28125000	9017076,51	25618,71	11,427	3,664	12,774
14	571,4	5605,434	0,353	100	2800	4269743,80	1430832,36	8066469,714	28125000	8821318,43	25618,71	12,594	3,950	13,772
15	617,4	6056,694	0,353	100	2800	4585625,80	1430832,36	8066469,714	28125000	8675823,53	25618,71	13,733	4,236	14,771
16	663,4	6507,954	0,353	100	2800	4901507,80	1430832,36	8066469,714	28125000	8565441,83	25618,71	14,851	4,523	15,770
17	709,4	6959,214	0,353	100	2801	5219376,75	1430832,36	8066469,714	28125000	8479716,45	25618,71	15,969	4,815	16,787
18	755,4	7410,474	0,353	100	2802	5537471,41	1430832,36	8066469,714	28125000	8412513,36	25618,71	17,074	5,107	17,806
19	801,4	7861,734	0,353	100	2803	5855791,80	1430832,36	8066469,714	28125000	8359092,74	25618,71	18,168	5,400	18,827

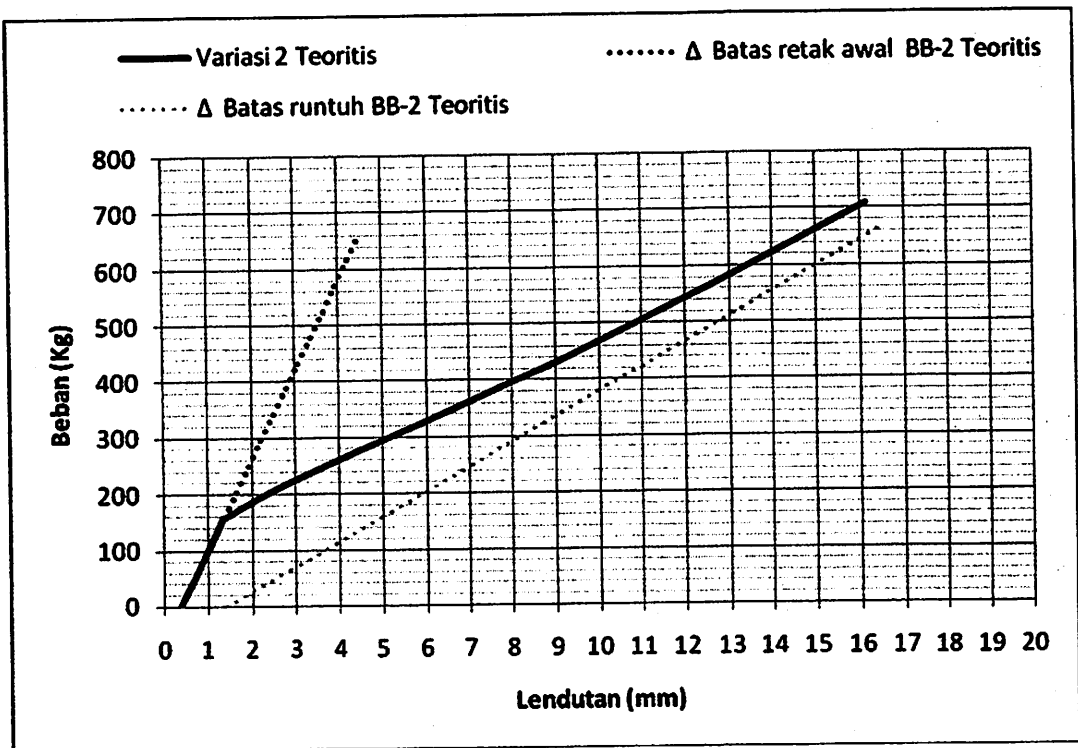
Hasil analisa teoritis balok varisai 3 mempunyai nilai beban retak awal P sebesar 157.99 Kg dan mempunyai lendutan teoritis 1.376 mm. Hasil perhitungan lendutan sebelum retak menggunakan Inersia gross (I_g) ditandai dengan nilai $M < M_{cr}$ maka balok belum mengalami retak. Perhitungan lendutan setelah retak menggunakan Inersia kritis (I_{cr}) balok mengalami retak ditandai dengan nilai $M > M_{cr}$. Perhitungan lendutan batas retak menggunakan nilai inersia gross (I_g) dan perhitungan lendutan batas runtuh menggunakan nilai Inersia kritis (I_{cr})



Gambar 4.20 Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok normal

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok normal dengan hasil analisa teoritis dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Tabel 4.10* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 13 untuk normal teoritis, untuk batas retak dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 14 dan batas runtuh dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 15.

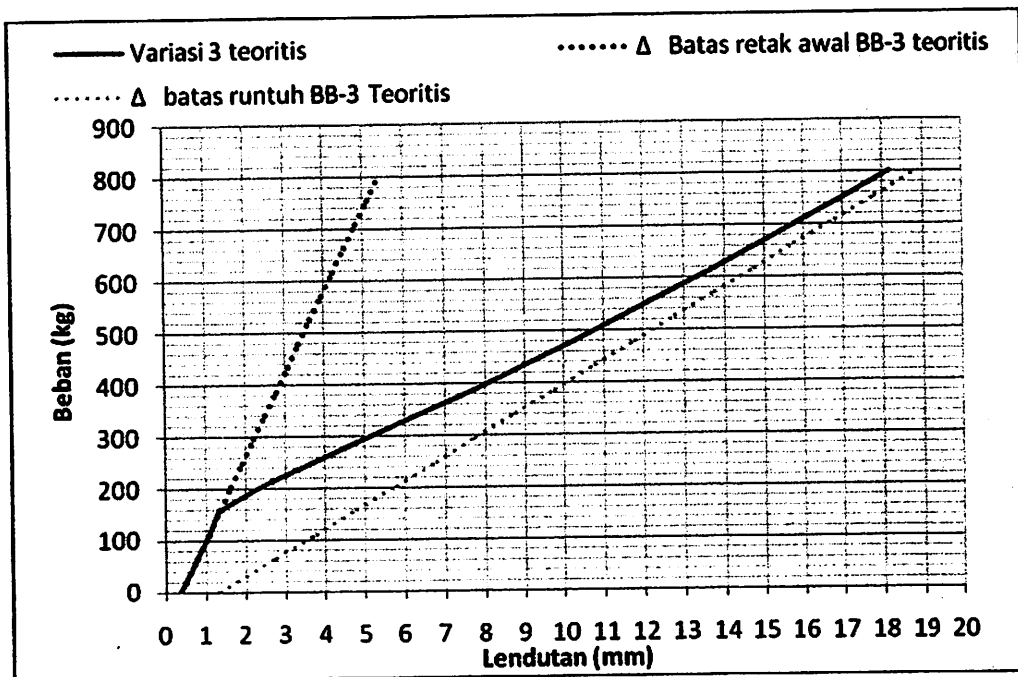
Kurva hasil analisa teoritis mempunyai nilai retak awal beban P msebesar 157.99 Kg dan nilai lendutan 1.376 mm dan nilai beban akhir yang digunakan untuk perhitungan teoritis dengan beban P 663.4 Kg dengan nilai lendutan 15.410 mm



Gambar 4.21 Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok Variasi 2

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok variasi 2 dengan hasil analisa teoritis dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.11 yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 13 untuk normal teoritis, untuk batas retak dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 14 dan batas runtuh dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 15.

Grafik hasil analisa teoritis mempunyai nilai retak awal beban P sebesar 157.99 Kg dan nilai lendutan 1.376 mm dan nilai beban akhir yang digunakan untuk perhitungan teoritis dengan nilai beban P 709.4 Kg dengan nilai lendutan 16.132 mm



Gambar 4.22 Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok Variasi 3

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok variasi 3 dengan hasil analisa teoritis dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.12 yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 13 untuk normal teoritis, untuk batas retak dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 14 dan batas runtuh dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 15.

Grafik hasil analisa teoritis mempunyai nilai retak awal beban P sebesar 157.99 Kg dan nilai lendutan 1.376 mm dan nilai beban akhir yang digunakan untuk perhitungan teoritis dengan nilai beban P 801.4 Kg dengan nilai lendutan 18.168 mm

4.2.10 Data Lab Hasil Pengujian Lendutan.

1. Balok normal

Benda uji : BN-1A

Tanggal pengujian : 22/07-2011

Benda uji : BN-1B

Tanggal pengujian : 22/07-2011

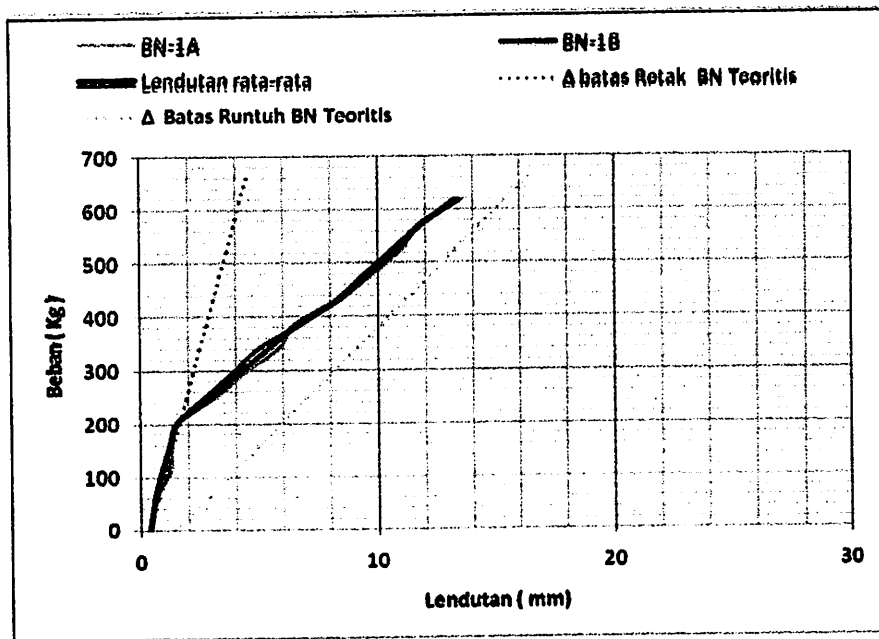
$f_c = 29.71$ MPa

$f_y = 403.62$ Mpa

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Balok Normal

No.	Beban (Kg)	BN-1A	BN-1B	Lendutan rata-rata
		Lendutan (mm)	Lendutan (mm)	
1	0	0,392	0,392	0,392
2	65,4	0,682	0,652	0,667
3	111,4	1,262	0,902	1,082
4	157,4	1,302	1,202	1,252
5	203,4	1,592	1,582	1,587
6	249,4	3,192	2,782	2,987
7	295,4	4,412	3,942	4,177
8	341,4	5,842	5,072	5,457
9	387,4	6,552	6,852	6,702
10	433,4	8,462	8,362	8,412
11	479,4	9,842	9,482	9,662
12	525,4	11,072	10,692	10,882
13	571,4	11,762	11,892	11,827
14	617,4	13,532	13,272	13,402

Pengujian hasil eksperimen BN-1A mengalami retak awal pada beban 203.4 Kg nilai lendutan 1.592 mm dengan beban optimum 617.4 Kg dengan nilai lendutan 13.532 mm. Pengujian hasil eksperimen BN-1B mengalami retak awal pada beban 203.4 Kg nilai lendutan 1.582 mm dengan beban optimum 617.4 Kg dengan nilai lendutan 13.272 mm.



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

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

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

2. Balok variasi 2

Benda uji : Variasi-2A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : Variasi-2B

Tanggal pengujian : 23/07-2011

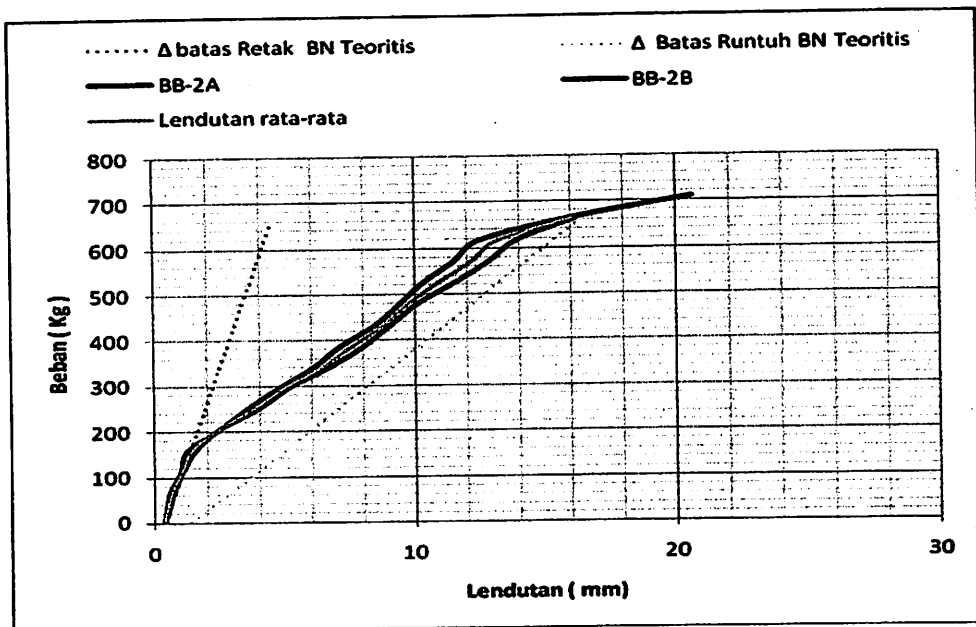
$f'_c = 29.71$ MPa

$f_y = 403.62$ Mpa

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Balok Variasi 2

No.	Beban (Kg)	BB-2A	BB-2B	Lendutan rata-rata
		Lendutan (mm)	Lendutan (mm)	
1	0	0,392	0,392	0,392
2	65,4	0,632	0,702	0,667
3	111,4	1,042	1,092	1,067
4	157,4	1,272	1,532	1,402
5	203,4	2,442	2,412	2,427
6	249,4	3,552	3,952	3,752
7	295,4	4,752	5,152	4,952
8	341,4	6,082	6,702	6,392
9	387,4	7,122	8,032	7,577
10	433,4	8,492	9,112	8,802
11	479,4	9,442	10,152	9,797
12	525,4	10,352	11,602	10,977
13	571,4	11,512	12,882	12,197
14	617,4	12,502	13,962	13,232
15	663,4	15,922	16,192	16,057
16	709,4	20,612	-	-

Pengujian hasil eksperimen BB-2A mengalami retak awal pada beban 249.4 Kg nilai lendutan 3.552 mm dengan beban optimum 709.4 Kg dengan nilai lendutan 20.612 mm. Pengujian hasil eksperimen BB-2B mengalami retak awal pada beban 249.4 Kg nilai lendutan 3.952 mm dengan beban optimum 663.4 Kg dengan nilai lendutan 16.192 mm.



Gambar 4.24 Grafik hubungan beban eksperimen-lendutan balok Variasi 2A dan 2B

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

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

3. Balok Variasi 3

Benda uji : BB-3A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BB-3B

Tanggal pengujian : 23/07-2011

$f_c = 29.71$ MPa

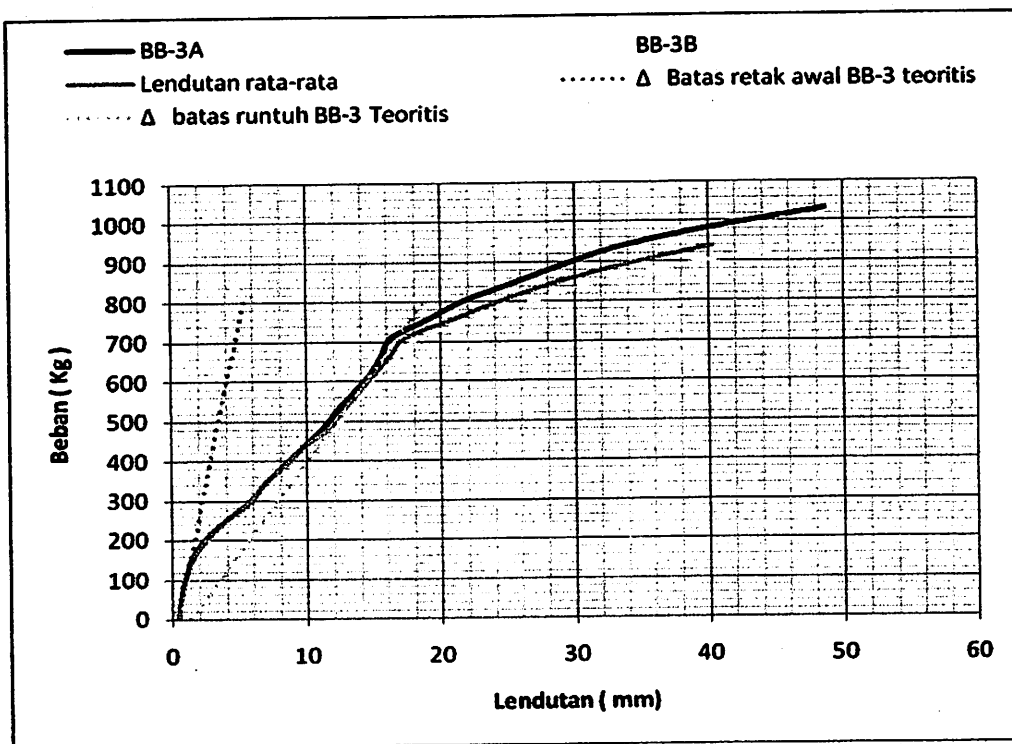
$f_y = 403.62$ Mpa

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Balok Variasi 3

No.	Beban (Kg)	BB-3A	BB-3B	Lendutan rata-rata
		Lendutan (mm)	Lendutan (mm)	
1	0	0,392	0,392	0,392
2	65,4	0,712	0,732	0,722
3	111,4	1,042	1,112	1,077
4	157,4	1,482	1,662	1,572
5	203,4	2,522	2,672	2,597
6	249,4	3,992	4,112	4,052
7	295,4	5,762	5,872	5,817
8	341,4	6,782	6,692	6,737
9	387,4	8,242	8,442	8,342
10	433,4	9,622	9,722	9,672
11	479,4	11,102	12,082	11,592
12	525,4	12,202	13,142	12,672
13	571,4	13,572	14,212	13,892
14	617,4	14,732	15,282	15,007
15	663,4	15,572	16,842	16,207
16	709,4	16,302	18,302	17,302
17	755,4	18,972	22,652	20,812
18	801,4	21,682	27,142	24,412
19	847,4	25,552	31,872	28,712
20	893,4	29,192	38,432	33,812
21	939,4	33,552	46,952	40,252
22	985,4	40,232		
23	1031,4	48,642	-	-

Pengujian hasil eksperimen BB-3A mengalami retak awal pada beban 249.4 Kg nilai lendutan 3.922 mm dengan beban optimum 1031.4 Kg dengan nilai

lendutan 48.642 mm. Pengujian hasil eksperimen BB-3B mengalami retak awal pada beban 249.4 Kg nilai lendutan 4.122 mm dengan beban optimum 939.4 Kg dengan nilai lendutan 46.952 mm.



Gambar 4.25 Grafik hubungan beban eksperimen-lendutan balok Variasi 3A dan 3B

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

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

4.2.11 Retak

1. Balok normal

Benda uji : BN-1A

Tanggal pengujian : 22/07-2011

Benda uji : BN-1B

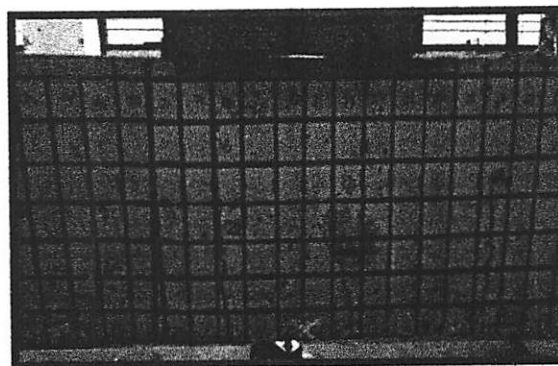
Tanggal pengujian : 22/07-2011

$f'_c = 29.71$ MPa

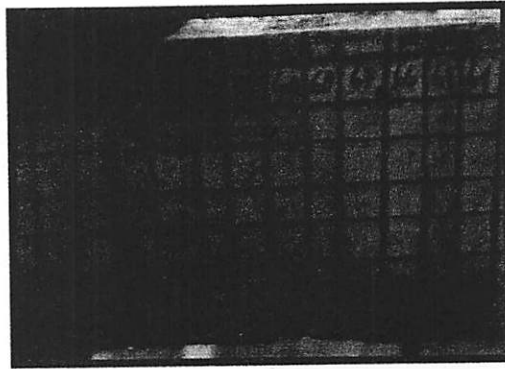
$f_y = 403.62$ Mpa

Pada balok normal A, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 8 satuan atau sebesar 203.4 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 normal B, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 8 satuan atau sebesar 203.4 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 4.26 Rekam retak yang terjadi pada balok normal A



Gambar 4.27 Rekam retak yang terjadi pada balok normal B

2. Balok Variasi 2

Benda uji : BB-2A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BB-2B

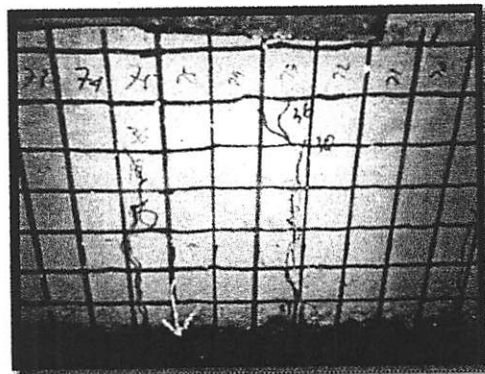
Tanggal pengujian : 23/07-2011

$f'_c = 29.71$ MPa

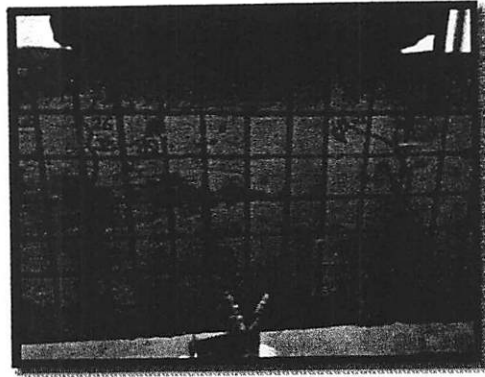
$f_y = 403.62$ Mpa

Pada balok variasi 2A, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 8 satuan atau sebesar 203.4 kg pada posisi 71 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar ± 5.8 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 2.68 mm pada kotak 71F kiri.

Pada balok variasi 2B, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 10 satuan atau sebesar 249.4 kg pada posisi 72 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar ± 6.2 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 2.7 mm pada kotak 72F kanan



Gambar 4.28 Rekam retak yang terjadi pada balok variasi 2A



Gambar 4.29 Rekam retak yang terjadi pada balok variasi 2B

3. Balok Variasi 3

Benda uji : BB-3A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BB-3B

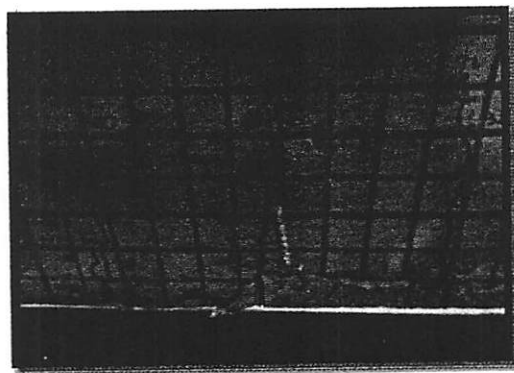
Tanggal pengujian : 23/07-2011

$f'_c = 29.71$ MPa

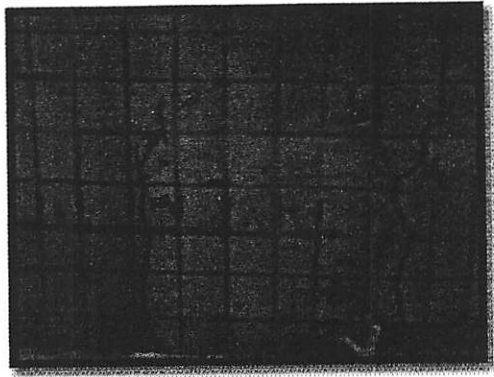
$f_y = 403.62$ Mpa

Pada balok variasi 3A, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 10 satuan atau sebesar 249.4 kg pada posisi 75 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar ± 6.6 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.69 mm pada kotak 75F kanan.

Pada balok normal 3B, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 10 satuan atau sebesar 249.4 kg pada posisi 74 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar ± 6.7 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 3.5 mm pada kotak 74F kanan



Gambar 4.30 Rekam retak yang terjadi pada balok variasi 3A



Gambar 4.31 Rekam retak yang terjadi pada balok variasi 3B

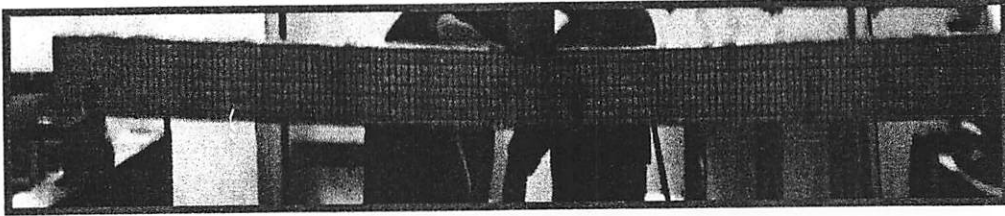
4.3 Pembahasan

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 lendutan maksimum akibat beban puncak.

Mekanisme balok BN-A terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 5.2 cm pada tengah balok di posisi 73 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 203.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 663.4 kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.54 mm yang terdapat pada kotak 72 kiri.

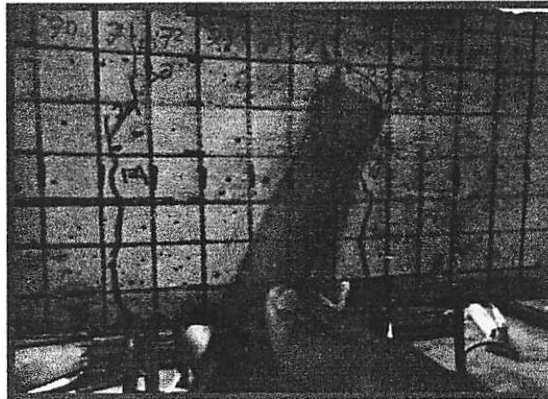
Mekanisme balok BN-B terlentur maksimum, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 6.6 cm pada tengah balok di posisi 73 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 203.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 663.4 kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 2.20 mm yang terdapat pada kotak 72 kiri.



Gambar 4.32 Balok mengalami lendutan akibat beban puncak

Mekanisme balok BB-2A terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 5.8 cm pada tengah balok di posisi 71 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 203.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 709.4 kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 2.68 mm yang terdapat pada kotak 71 kanan.

Mekanisme balok BB-2B terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 6.2 cm pada tengah balok di posisi 72 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 249.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 663.4 kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 2.7 mm yang terdapat pada kotak 72 kanan.



Gambar 4.33 Pengukuran panjang retak

Mekanisme balok BB-3A terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 6.6 cm pada tengah balok di posisi 75 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 349.4.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 1031.4 kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.68 mm yang terdapat pada kotak 75 kanan.

Mekanisme balok BB-3B terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 6.7 cm pada tengah balok di posisi 74 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 249.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 985.4 kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 3.5 mm yang terdapat pada kotak 74 kanan.



Gambar 4.34 Pengukuran lebar retak akhir

4.3.2. Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen setiap balok

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

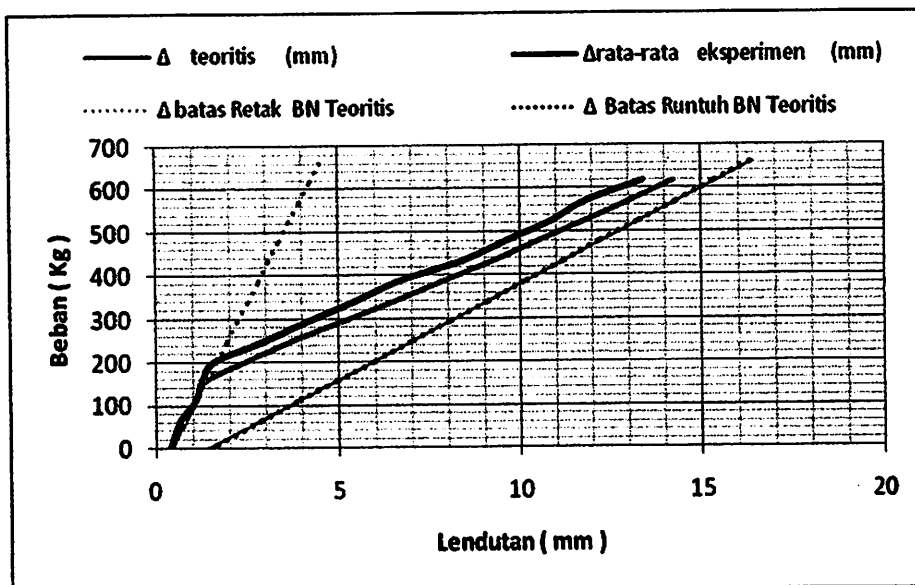
1. Balok normal

Perbandingan antara lendutan balok normal (BN) teoritis dan lendutan eksperimen balok normal ditemukan perbedaan lendutan yang bervariasi dimana nilai terkecil adalah 0.34 % pada beban 111.4 Kg dan terbesar 35.27 % pada beban 203.4 Kg. Sedang, perbedaan rata-rata sebesar 12.37 % (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 4.16 seperti terlihat pada gambar 4.27

Tabel 4.16 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen pada balok normal

No	Beban (P) (Kg)	Δ teoritis (mm)	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0,0	0,392	0,392	0,00
2	65,4	0,799	0,667	16,55
3	111,4	1,086	1,082	0,34
4	157,4	1,372	1,252	8,76
5	203,4	2,452	1,587	35,27
6	249,4	3,749	2,987	20,33
7	295,4	5,141	4,177	18,76
8	341,4	6,549	5,457	16,67
9	387,4	7,931	6,702	15,49
10	433,4	9,271	8,412	9,27
11	479,4	10,568	9,662	8,57
12	525,4	11,825	10,882	7,97
13	571,4	13,047	11,827	9,35
14	617,4	14,241	13,402	5,89
Rata-rata				12,37



Gambar 4.35 Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok normal.

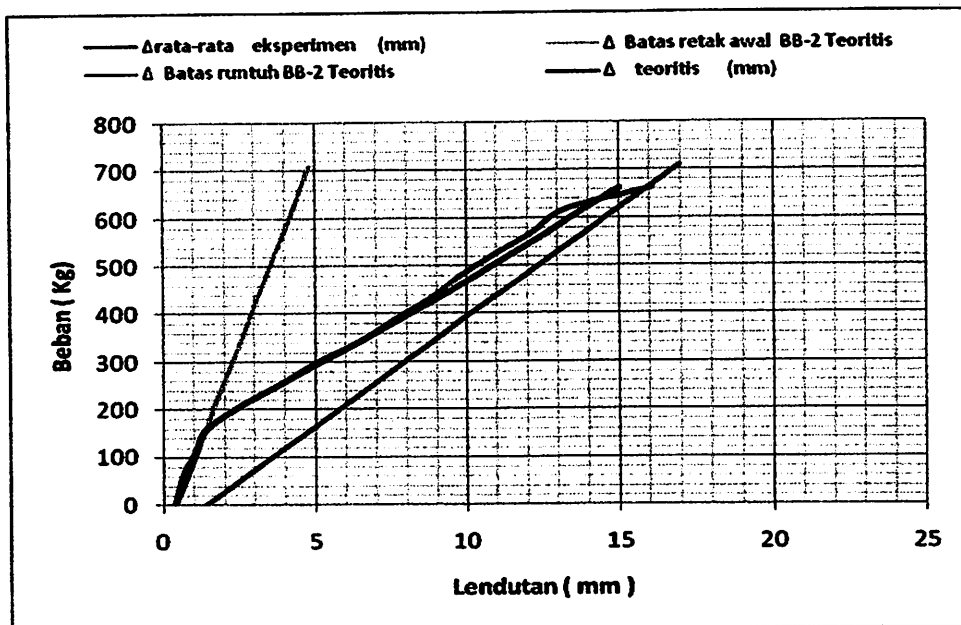
2. Balok variasi 2

Perbandingan antara lendutan balok variasi 2 (BB-2) teoritis dan lendutan eksperimen balok ditemukan perbedaan lendutan yang bervariasi dimana nilai terkecil adalah 0.45 % pada beban 203.4 Kg dan terbesar 16.55 % pada beban 65.4 Kg. Sedang, perbedaan rata-rata sebesar 3.91 % (tabel 4.17). nilai lendutan eksperimen berada di bawah nilai lendutan teoritis.

Perbandingan lendutan secara teoritis dan eksperimen kami gambarkan dalam kurva hubungan beban dan lendutan dengan cara menghubungkan beban yang terjadi dengan nilai lendutan rata-rata eksperimen Tabel 4.17 seperti terlihat pada gambar 4.28.

Tabel 4.17 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen balok variasi 2

No	Beban (P) (Kg)	Δ teoritis (mm)	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0,0	0,392	0,392	0,00
2	65,4	0,799	0,667	16,55
3	111,4	1,086	1,067	1,73
4	157,4	1,372	1,402	2,13
5	203,4	2,438	2,427	0,45
6	249,4	3,709	3,752	1,16
7	295,4	5,063	4,952	2,20
8	341,4	6,427	6,392	0,55
9	387,4	7,763	7,577	2,39
10	433,4	9,057	8,802	2,82
11	479,4	10,309	9,797	4,96
12	525,4	11,521	10,977	4,73
13	571,4	12,701	12,197	3,97
14	617,4	13,854	13,232	4,49
15	663,4	15,001	16,057	6,58
Rata-rata				3,91



Gambar 4.36 Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 2

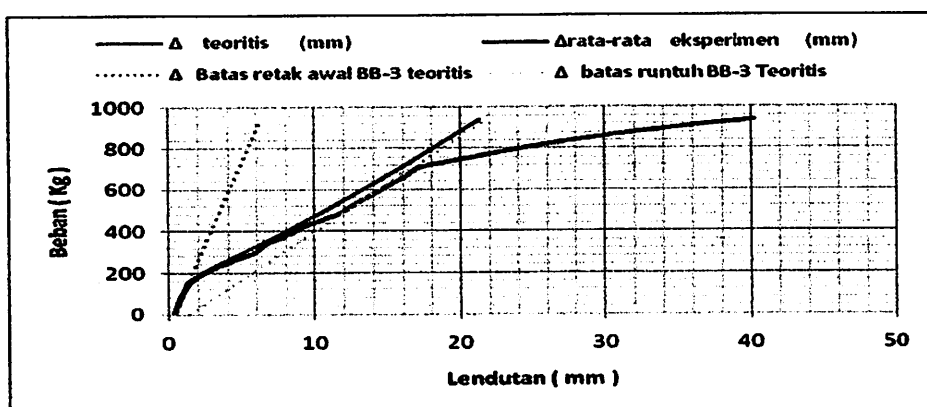
3. Balok variasi 3

Perbandingan antara lendutan balok variasi 3 teoritis dan lendutan eksperimen balok normal ditemukan perbedaan lendutan yang bervariasi dimana nilai terkecil adalah 0.805% pada beban 111.4 Kg dan terbesar 46.985 % pada beban 939.4 Kg. Sedang, perbedaan rata-rata sebesar 18.058 % (tabel 4.18).

Perbandingan lendutan secara teoritis dan eksperimen kami gambarkan dalam kurva hubungan beban dan lendutan dengan cara menghubungkan beban yang terjadi dengan nilai lendutan rata-rata eksperimen Tabel 4.18 seperti terlihat pada gambar 4.29

Tabel 4.18 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen balok variasi 3

No	Beban (P) (Kg)	Δ teoritis (mm)	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0	0,392	0,392	0
2	65,4	0,799	0,722	9,673
3	111,4	1,086	1,077	0,805
4	157,4	1,372	1,572	12,712
5	203,4	2,434	2,597	6,293
6	249,4	3,696	4,052	8,793
7	295,4	5,039	5,817	13,381
8	341,4	6,389	6,737	5,166
9	387,4	7,710	8,342	7,572
10	433,4	8,990	9,672	7,050
11	479,4	10,228	11,592	11,770
12	525,4	11,427	12,672	9,825
13	571,4	12,594	13,892	9,345
14	617,4	13,733	15,007	8,486
15	663,4	14,851	16,207	8,367
16	709,4	15,969	17,302	7,707
17	755,4	17,074	20,812	17,963
18	801,4	18,168	24,412	25,576
19	847,4	19,233	28,712	33,013
20	893,4	20,290	33,812	39,992
21	939,4	21,340	40,252	46,985
Rata-rata				13,832



Gambar 4.37 Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 3

4.3.3. 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 gambar 4.30

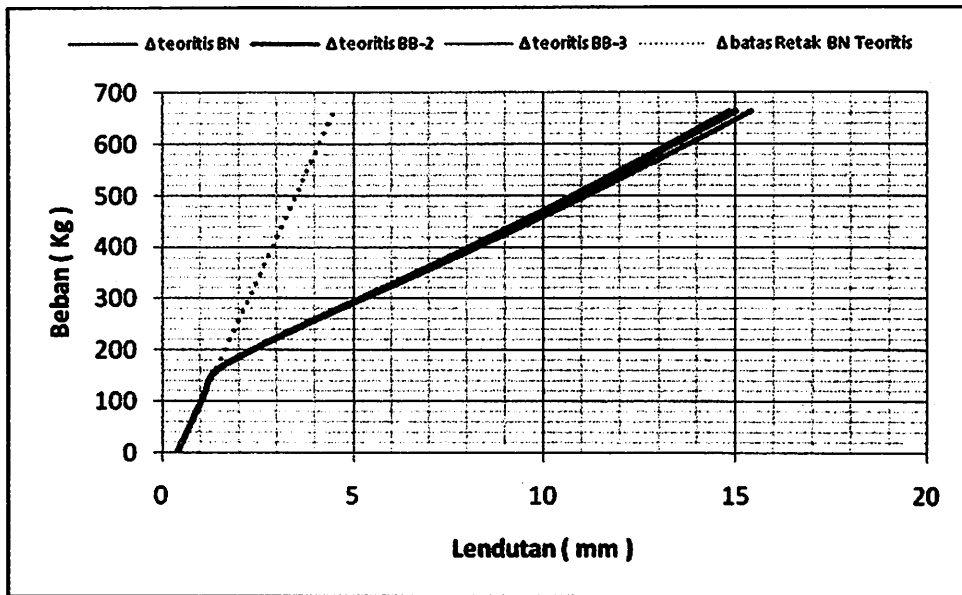
Tabel 4.19 Perbandingan lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen

No	Beban (P) (Kg)	Δ teoritis BN	Δ teoritis BB-2	Δ teoritis BB-3	Perbedaan Δ (%) terhadap BN	
					BB-2	BB-3
1	0	0,392	0,392	0,392	0,00	0,00
2	65,4	0,799	0,799	0,799	0,00	0,00
3	111,4	1,086	1,086	1,086	0,00	0,00
4	157,4	1,376	1,376	1,376	0,00	0,00
5	203,4	2,452	2,438	2,434	0,562	0,181
6	249,4	3,749	3,709	3,696	1,085	0,348
7	295,4	5,141	5,063	5,039	1,519	0,487
8	341,4	6,549	6,427	6,389	1,858	0,595
9	387,4	7,931	7,763	7,710	2,116	0,677
10	433,4	9,271	9,057	8,990	2,310	0,738
11	479,4	10,568	10,309	10,228	2,456	0,785
12	525,4	11,825	11,521	11,427	2,567	0,820
13	571,4	13,047	12,701	12,594	2,652	0,847
14	617,4	14,241	13,854	13,733	2,717	0,867
15	663,4	15,410	15,001	14,851	2,654	0,999
Rata-rata					22,498	7,343

Berdasarkan perhitungan lendutan secara teoritis untuk beban eksperimen diperoleh variasi lendutan untuk beban yang sama terhadap BN. Seperti pada beban 663.4 kg terdapat perbedaan sebesar 2.654% untuk BB-2 dan perbedaan sebesar 0.999% untuk BB-3.

Rata-rata perbedaan lendutan teoritis antar balok terhadap balok normal sebesar 22.498% untuk BB-2 dan 7.343% untuk BB-3. nilai lendutan BB-1 dan BB-2 berada di bawah nilai lendutan BN ($\Delta_{BN} > \Delta_{BB-2} > \Delta_{BB-3}$). Ini

menandakan, penambahan tulangan tekan mengurangi nilai lendutan untuk nilai beban yang sama



Gambar 4.38 Grafik lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen

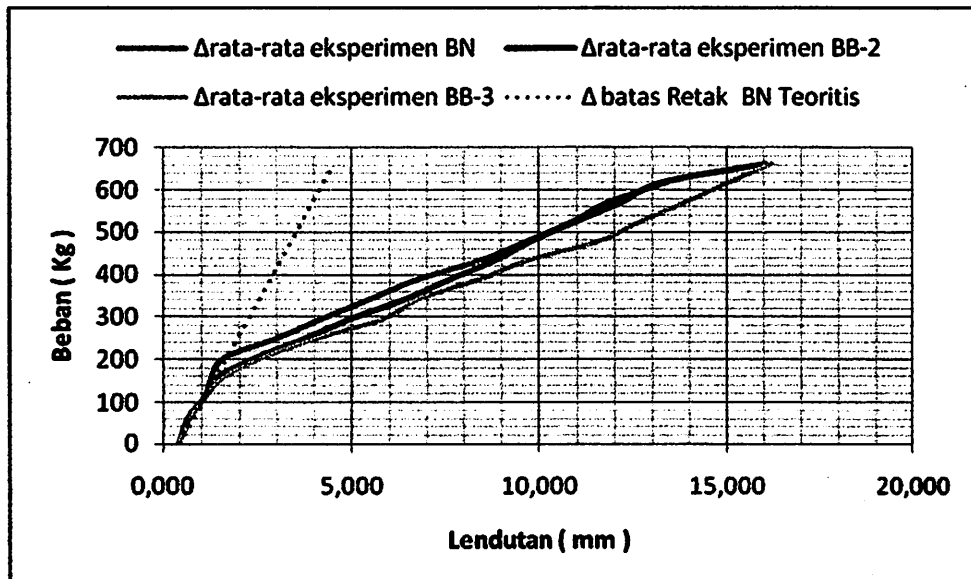
4.3.4. Perbandingan eksperimen antar balok

Untuk perbandingan lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen, kami tampilkan dalam bentuk tabel 4.20 di bawah ini dan digambarkan dalam kurva hubungan beban lendutan pada gambar 4.31

Berdasarkan hasil perbandingan lendutan hasil eksperimen antar balok, diperoleh variasi lendutan pada masing-masing balok terhadap beban yang sama. Secara rata-rata diperoleh perbedaan lendutan terhadap BN sebesar 10.475 % untuk BB-2 dan 21.476 % untuk BB-3. Ini menandakan nilai lendutan bertambah seiring penambahan tulangan tekan untuk nilai beban yang sama (Δ BN > Δ BB-2 > Δ BB-3). Ini menandakan, penambahan tulangan tekan menambah nilai lendutan untuk nilai beban yang sama

Tabel 4.20 Perbandingan lendutan eksperimen antar balok

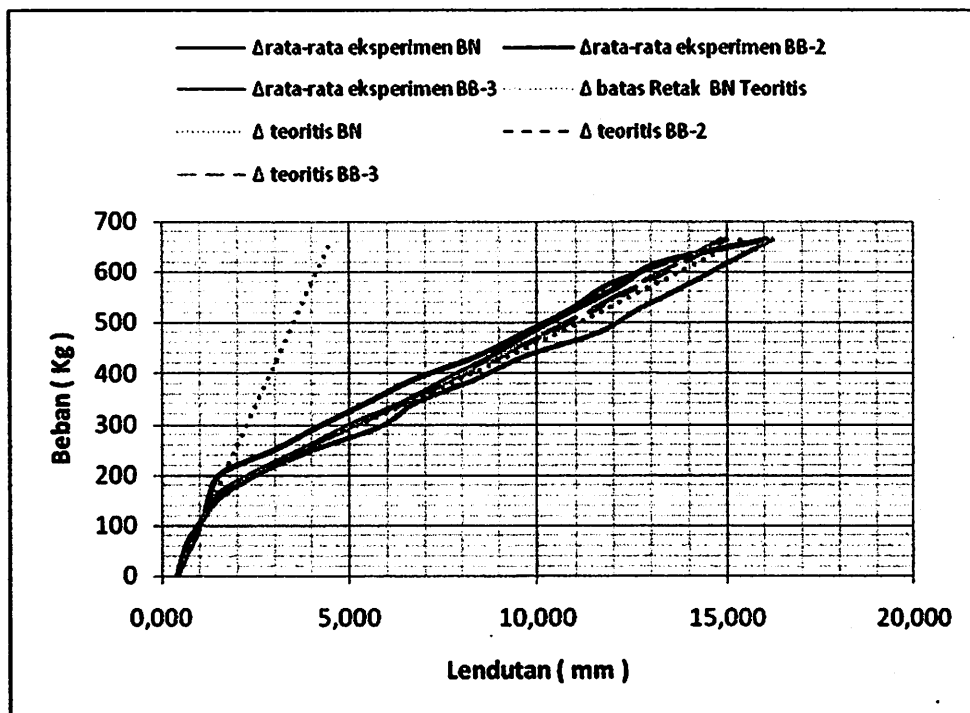
No	Beban (P) (Kg)	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen BN	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen BB-2	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen BB-3	Perbedaan Δ (%) terhadap BN	
					BB-2	BB-3
1	0	0,392	0,392	0,392	0,000	0
2	65,4	0,667	0,667	0,722	0,000	7,62
3	111,4	1,082	1,067	1,077	1,386	0,93
4	157,4	1,252	1,402	1,572	10,699	10,81
5	203,4	1,587	2,427	2,597	34,611	6,55
6	249,4	2,987	3,752	4,052	20,389	7,40
7	295,4	4,177	4,952	5,817	15,650	14,87
8	341,4	5,457	6,392	6,737	14,628	5,12
9	387,4	6,702	7,577	8,342	11,548	9,17
10	433,4	8,412	8,802	9,672	4,431	9,00
11	479,4	9,662	9,797	11,592	1,378	15,48
12	525,4	10,882	10,977	12,672	0,865	13,38
13	571,4	11,827	12,197	13,892	3,034	12,20
14	617,4	13,402	13,232	15,007	1,268	11,83
15	663,4	-	16,057	16,207	-	-
Rata-rata					10,475	21,476



Grafik 4.39 Grafik lendutan eksperimen antar balok

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

Dari gambar grafik diperoleh beban ultimate rata-rata hasil pengujian balok untuk balok normal $P = 617.4$ Kg dengan nilai lendutan 13.402 mm. Untuk balok variasi 2 $P = 663.4$ Kg dengan nilai lendutan 16.057 mm. Untuk balok variasi 3 $P = 663.4$ Kg dengan nilai lendutan 16.207 mm



Grafik 4.40 Grafik lendutan teoritis dan eksperimen antar balok

Dari hasil grafik gabungan diperoleh nilai masing-masing lendutan. Lendutan teoritis untuk balok normal beban 663.4 Kg nilai lendutan 15.410 mm. untuk teoritis balok variasi 2 beban 663.4 Kg nilai lendutan 15.001 mm dan untuk teoritis balok variasi 3 beban 663.4 Kg nilai lendutan 14.851 mm.

4.3.5. Hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan

Untuk hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan, kami peroleh dengan membandingkan lendutan hasil setiap beban dengan variasi tulangan tekan. Seperti yang tertera dalam bentuk tabel 4.21 dan 4.22 di bawah ini dan digambarkan dalam kurva hubungan beban - lendutan pada gambar 4.33

Tabel 4.21 Hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan

Beban (Kg)	Variasi tulangan tekan		
	2Ø7,4	5 Ø7,4	6 Ø7,4
0	0,392	0,392	0,392
65.4	0,799	0,799	0,799
111.4	1,086	1,086	1,086
157.4	1,372	1,372	1,372
203.4	2,452	2,438	2,434
249.4	3,749	3,709	3,696
295.4	5,141	5,063	5,039
341.4	6,549	6,427	6,389
387.4	7,931	7,763	7,710
433.4	9,271	9,057	8,990
479.4	10,568	10,309	10,228
525.4	11,825	11,521	11,427
571.4	13,047	12,701	12,594
617.4	14,241	13,854	13,733
663.4	15,410	15,001	14,851

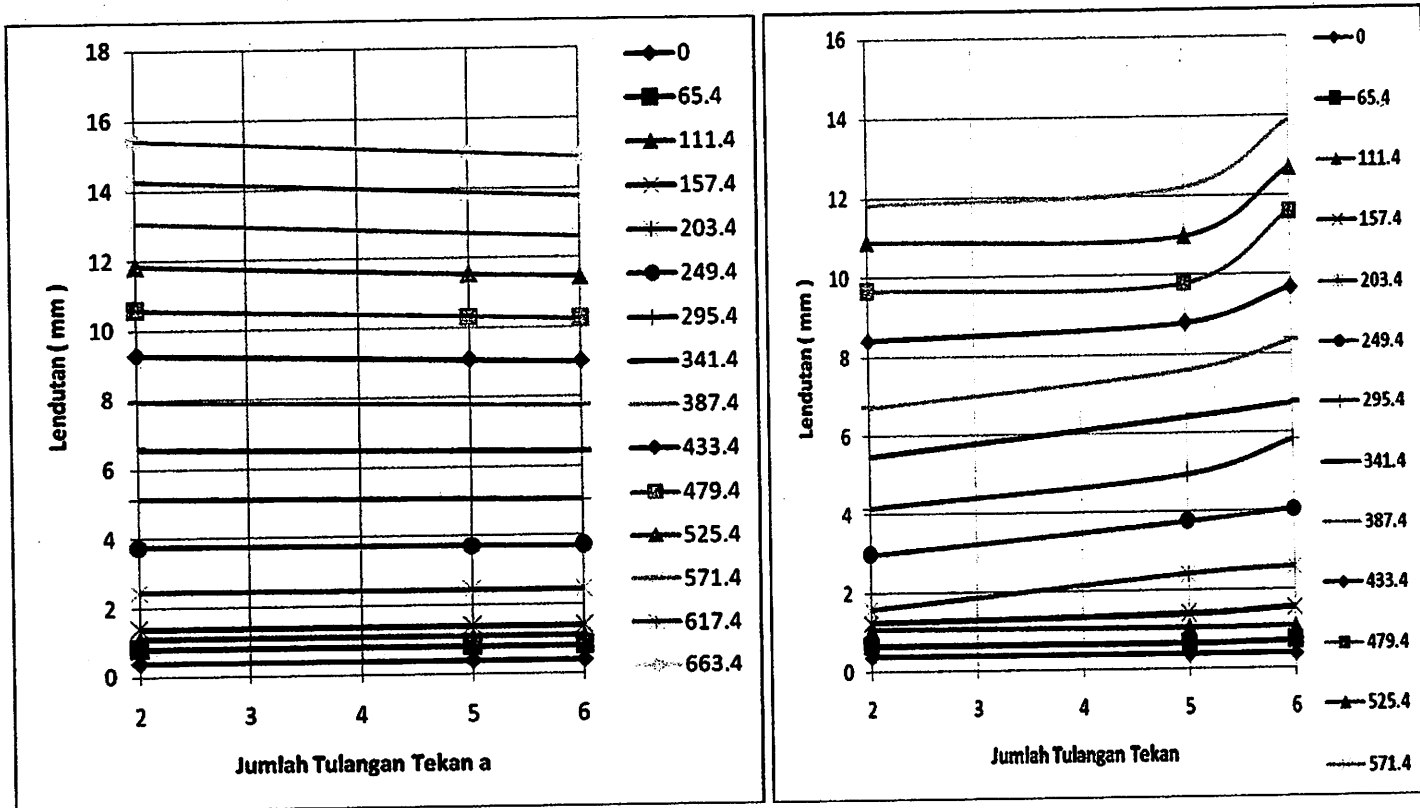
Dari hasil olah data tabel dan grafik diperoleh untuk hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan berbanding terbalik (Gambar 33.a) setelah mengalami retak awal. Dimana untuk beban yang sama, lendutan yang terjadi semakin kecil akibat penambahan tulangan tekan. Sesuai hasil olah data tabel 4.19 yang menemukan perbedaan lendutan sebesar -22.498% untuk tulangan tekan

5Ø7.4 dan -29.673% untuk tulangan tekan 6Ø7.4 terhadap lendutan tulangan tekan 2Ø7.4. Sedang antara keduanya sebesar -7.343%.

Tabel 4.22 Hubungan lendutan eksperimen dan penambahan tulangan tekan

Beban (Kg)	Variasi tulangan tekan			Lendutan (mm)
	2Ø7,4	5 Ø7,4	6 Ø7,4	
0	0,392	0,392	0,392	
65.4	0,667	0,667	0,722	
111.4	1,082	1,067	1,077	
157.4	1,252	1,402	1,572	
203.4	1,587	2,427	2,597	
249.4	2,987	3,752	4,052	
295.4	4,177	4,952	5,817	
341.4	5,457	6,392	6,737	
387.4	6,702	7,577	8,342	
433.4	8,412	8,802	9,672	
479.4	9,662	9,797	11,592	
525.4	10,882	10,977	12,672	
571.4	11,827	12,197	13,892	
617.4	13,402	13,232	15,007	
663.4	-	16,057	16,207	

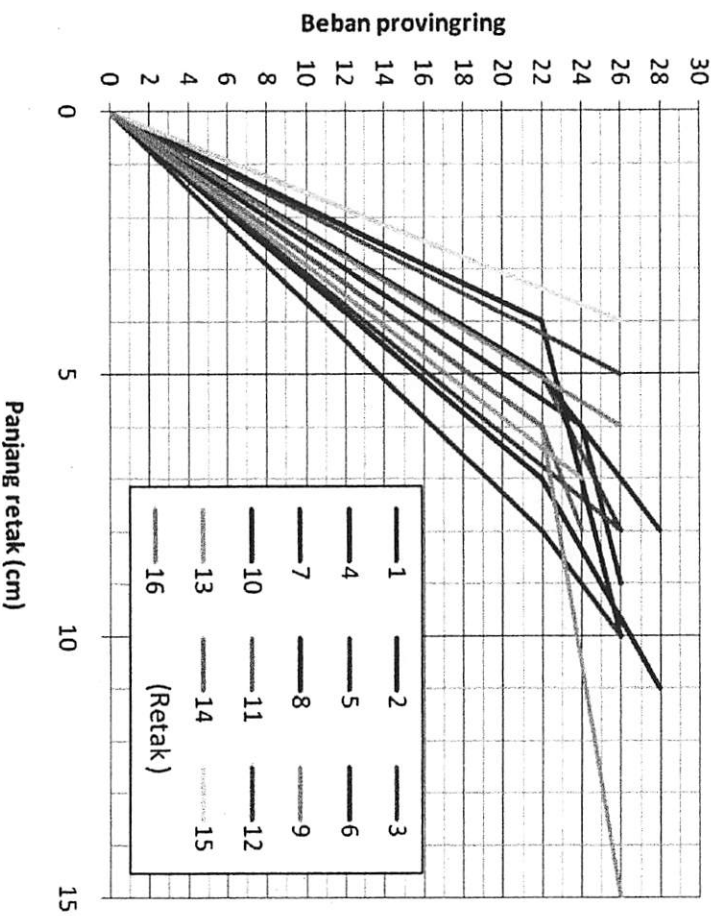
Dari hasil olah data tabel dan grafik diperoleh untuk hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan cenderung berbanding terbalik (gambar 4.33.b) setelah mengalami retak awal. Dimana untuk beban yang sama, lendutan yang terjadi semakin kecil akibat penambahan tulangan tekan. Sesuai hasil olah data tabel 4.20 yang menemukan perbedaan lendutan sebesar 10.47% untuk tulangan tekan 5Ø7.4 dan 21.476% untuk tulangan tekan 6Ø7.4 terhadap lendutan tulangan tekan 2Ø7.4. Sedang antara keduanya sebesar 9.411%.



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

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

Retak	Beban proving ring				Panjang retak vertikal (cm)
	0	22	24	26	
1	0		6	9	
2	0	7			11
3	0			8	
4	0	5			
5	0	5		8	
6	0	8		10	
7	0	6			
8	0	4		10	
9	0	6		15	
10	0	5			8
11	0	6	8		
12	0			5	
13	0		7		
14	0	6			
15	0			4	
16	0			6	

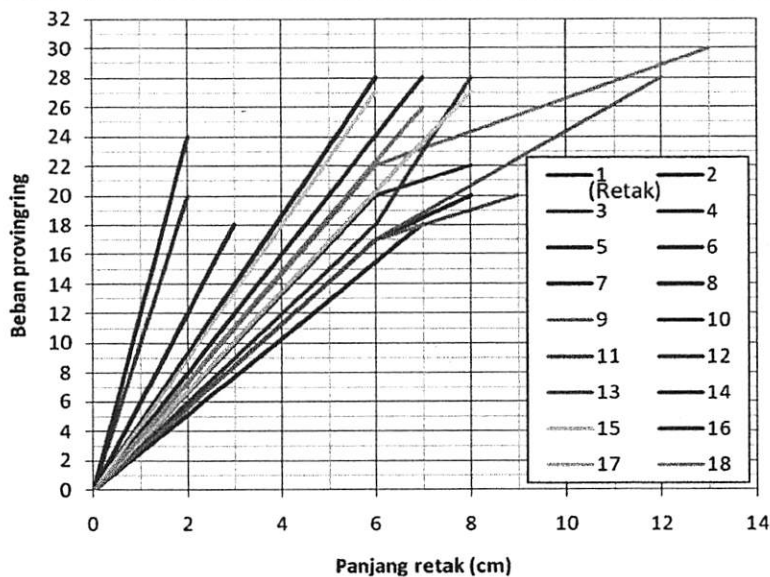


Gambar 4.42 Grafik Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal A

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

Retak	Beban proving ring									
	0	17	18	20	22	24	26	27	28	30
1	0								7	
2	0								6	
3	0			2						
4	0		7							
5	0			6	8					
6	0	6		8						
7	0					2				
8	0		3							
9	0				6					13
10	0	6		8						
11	0	6							12	
12	0		6						8	
13	0	6		9						
14	0								8	
15	0							8		
16	0						7			
17	0							6		
18	0						7			

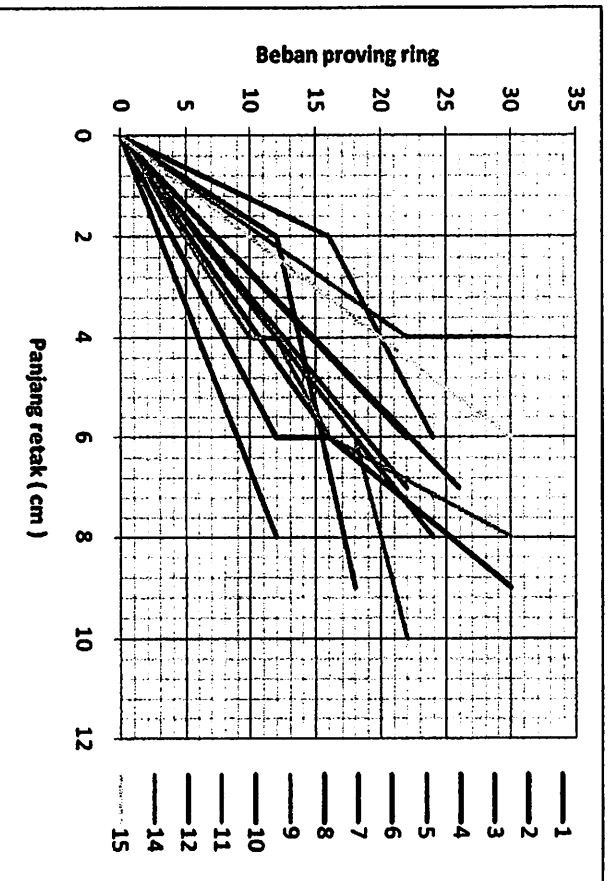
Panjang retak vertikal (cm)



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

Tabel 4.26 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 2A

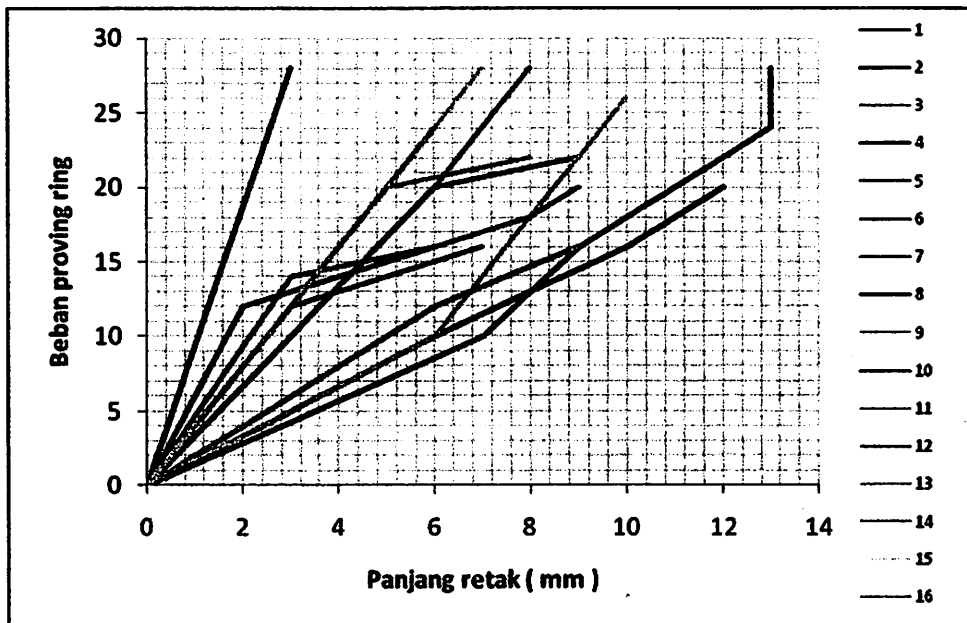
Retak	Beban proving ring											Panjang retak vertikal (cm)
	0	10	12	16	18	20	22	24	26	30		
1	0								7			
2	0						6					
3	0						7			8		
4	0			6								
5	0			2				6				
6	0		2				9					
7	0				6			8				
8	0		6	6						9		
9	0	4	8	10							12	
10	0		8									
11	0				6	8	10					
12	0						6					
13	0			6								
14	0								4			
15	0											6



Gambar 4.44 Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2A

Tabel 4.27 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 2B

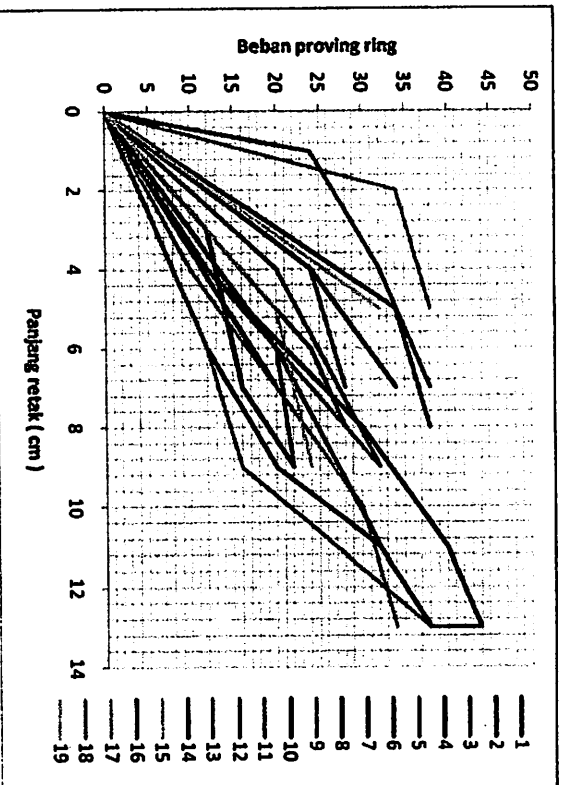
Retak	Beban proving ring											Panjang retak vertikal (cm)
	0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
1	0											3
2	0								6			
3	0						6					8
4	0		6		9							
5	0		3		7							
6	0		2		6							
7	0						6	9				
8	0	6			10		12					
9	0	6								10		
10	0	7			9				13			13
11	0						5	8				
12	0			3	6	8	9					
13	0											7
14	0		6		9							
15	0								6			
16	0								6			



Gambar 4.45 Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2 B

Tabel 4.28 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 3A

Retak	Beban proving ring																Panjang retak vertikal (cm)
	0	10	12	16	20	22	24	28	30	32	34	38	40	42	44		
1	0						4				7						
2	0				7												
3	0					4	7										
4	0		3	6		9											
5	0				6	9											
6	0				6					10							
7	0			5							8	11					
8	0		4						8			11			13		
9	0	4			7				10								
10	0		6		9												
11	0		6	9						11	13				13		
12	0									9							
13	0		4							9							
14	0			4													
15	0				5		6	8									
16	0						9			4							
17	0																
18	0																
19	0																

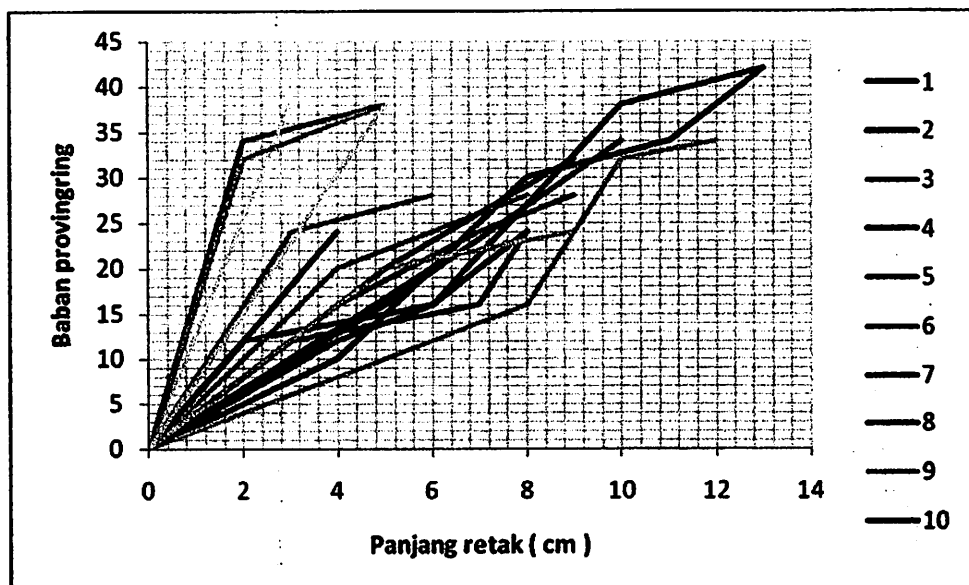


Gambar 4.46 Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 3A

Tabel 4.29 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 3B

Retak	Beban proving ring											
	0	10	12	16	20	24	28	30	32	34	38	42
1	0					4						
2	0				6							
3	0									2	5	
4	0		2	6		8						
5	0		3	7		8						
6	0				5				9			
7	0			5						10		
8	0	4						8		11		13
9	0		6	8					10	12		
10	0		4	8							12	
11	0				4		8					
12	0			4		7	9					
13	0				5	9						
14	0					3	6					
15	0										3	
16	0								2		5	
17	0										5	

Panjang retak vertikal (cm)

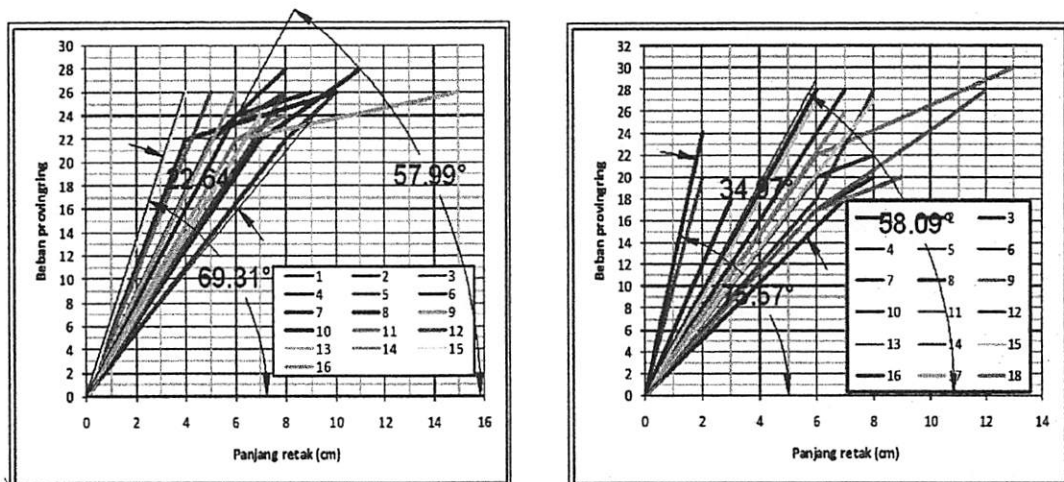


Gambar 4.47 Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 3B

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

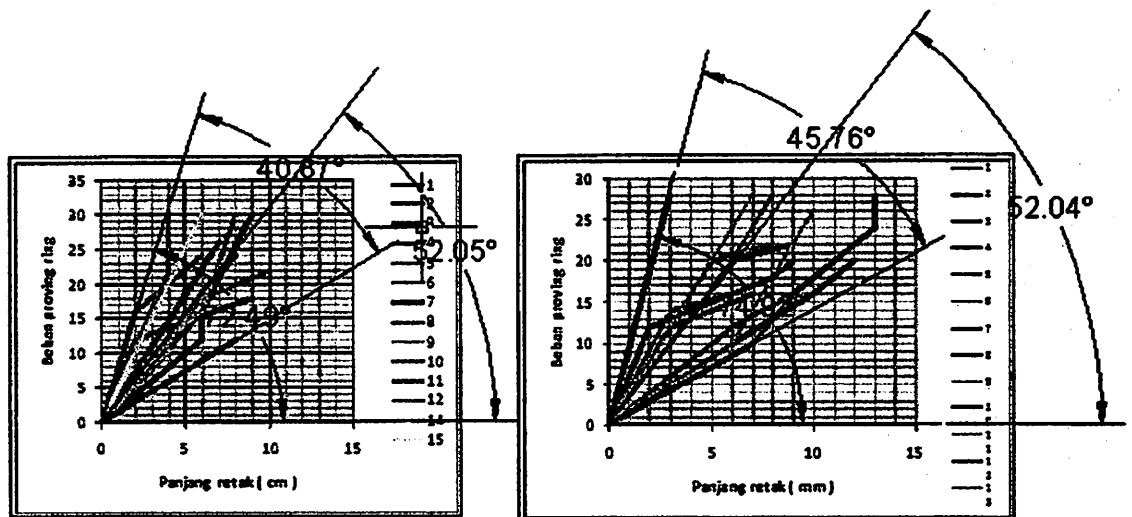
Pada grafik hubungan beban-retak balok normal A, dua kurva retak terluar membentuk sudut sebesar 22.64° , setengah besar sudutnya adalah 11.32° . Sehingga besar kemiringan rata-rata terhadap sumbu horisontal adalah 57.99° . Untuk grafik beban-retak balok normal B, kemiringan sudut rata-rata sebesar 58.09° . Sehingga besar kemiringan sudut rata-rata balok normal adalah 58.04° .



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

2. Balok variasi 2

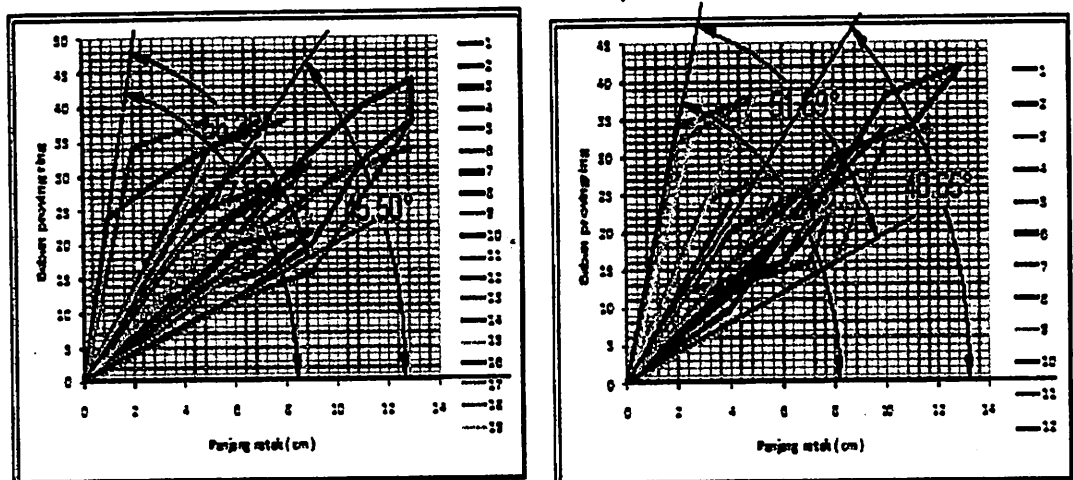
Pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 2A, dua kurva retak terluar membentuk sudut sebesar $40,67^\circ$, setengah besar sudutnya adalah $20,33^\circ$. Sehingga besar kemiringan rata-rata terhadap sumbu horisontal adalah $52,05^\circ$. Untuk grafik beban-retak balok variasi 2B, kemiringan sudut rata-rata sebesar $52,04^\circ$. Sehingga besar kemiringan sudut rata-rata balok variasi 1 adalah $52,04^\circ$



Gambar 4.49 Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 2A (a) dan balok variasi 2B (b)

3. Balok variasi 3

Pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 3A, dua kurva retak terluar membentuk sudut sebesar $56,38^\circ$, setengah besar sudutnya adalah $28,19^\circ$. Sehingga besar kemiringan rata-rata terhadap sumbu horisontal adalah $45,50^\circ$. Untuk grafik beban-retak balok variasi 3B, kemiringan sudut rata-rata sebesar $48,65^\circ$. Sehingga besar kemiringan sudut rata-rata balok variasi 2 adalah $47,07^\circ$.



Gambar 4.50 Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 3A (a) dan balok variasi 3B (b)

4.3.8. Validasi lendutan teoritis dan eksperimen antar balok

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

Dari olah data, kami temukan nilai perbandingan rata-rata sebesar 62.59 % untuk perbedaan lendutan hasil teoritis dan eksperimen balok 2, 88.33 % untuk perbedaan lendutan hasil teoritis dan eksperimen balok variasi 3.

Tabel 4.30 Perbandingan perbedaan lendutan teoritis dan eksperimen antar balok

No	Beban (P) (Kg)	Lendutan teoritis Perbedaan Δ (%) terhadap BN		Lendutan eksperimen Perbedaan Δ (%) terhadap BN		% Perbedaan lendutan teoritis BB-2 dan eksperimen BB-2	% Perbedaan lendutan teoritis BB-3 dan eksperimen BB-3
		BB-2	BB-3	BB-2	BB-3	BB-2	BB-3
1	0	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00
2	65,4	0,00	0,00	0,000	7,620	0,00	100,00
3	111,4	0,00	0,00	1,386	0,930	100,00	100,00
4	157,4	0,00	0,00	10,699	10,810	100,00	100,00
5	203,4	0,562	0,181	34,611	6,550	98,38	97,24
6	249,4	1,085	0,348	20,389	7,400	94,68	95,30
7	295,4	1,519	0,487	15,650	14,870	90,29	96,72
8	341,4	1,858	0,595	14,628	5,120	87,30	88,38
9	387,4	2,116	0,677	11,548	9,170	81,68	92,62
10	433,4	2,310	0,738	4,431	9,000	47,87	91,80
11	479,4	2,456	0,785	1,378	15,480	43,89	94,93
12	525,4	2,567	0,82	0,865	13,380	66,30	93,87
13	571,4	2,652	0,847	3,034	12,200	12,59	93,06
14	617,4	2,717	0,867	1,268	11,830	53,33	92,67
15	663,4	2,654	0,999	-	-	-	-
		22,498	7,343	10,475	21,476	62,59	88,33

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, kami menyimpulkan sebagai berikut :

1. Lendutan teoritis akibat penambahan tulangan tekan antara balok normal dengan balok variasi 2 terdapat perbedaan rata-rata 22.498% sedangkan antara balok normal dengan balok variasi 3 terdapat perbedaan rata-rata 7.343%. Lendutan eksperimen akibat penambahan tulangan tekan antara balok normal dengan balok variasi 2 terdapat perbedaan rata-rata 10.475% sedangkan antara balok normal dengan balok variasi 3 terdapat perbedaan rata-rata 21.476%. Untuk perbandingan lendutan teoritis Variasi 2 dengan eksperimen Variasi 2 terdapat perbedaan rata-rata 62.59% dan perbandingan lendutan teoritis variasi 3 dengan eksperimen variasi 3 terdapat perbedaan rata-rata 88.33%. Dari nilai tersebut terlihat penambahan tulangan tekan tidak mengurangi lendutan, maka formula yang digunakan belum sesuai.
2. Bentuk kurva hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan menampilkan bentuk kurva yang berbanding terbalik antara hasil teoritis dan eksperimen
3. Bentuk retak yang terjadi akibat penambahan tulangan tekan berdasarkan kurva hubungan beban-retak membentuk sudut yang semakin kecil seiring penambahan tulangan tekan. Yaitu; sebesar 58.04° untuk tulangan tekan

2Ø8, sebesar 52,04⁰ untuk tulangan tekan 5Ø8 dan sebesar 47,07⁰ untuk tulangan tekan 6Ø8.

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 menentukan 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 Ø 10 , Ø 12, Ø 13, Ø 16, Ø 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.

Lampiran

LAPORAN

PENGUJIAN BAHAN

TAHUN 2011

PEKERJAAN : DATA SKRIPSI
LOKASI : LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
PENGUJIAN : BAHAN BETON
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

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 penggetar 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

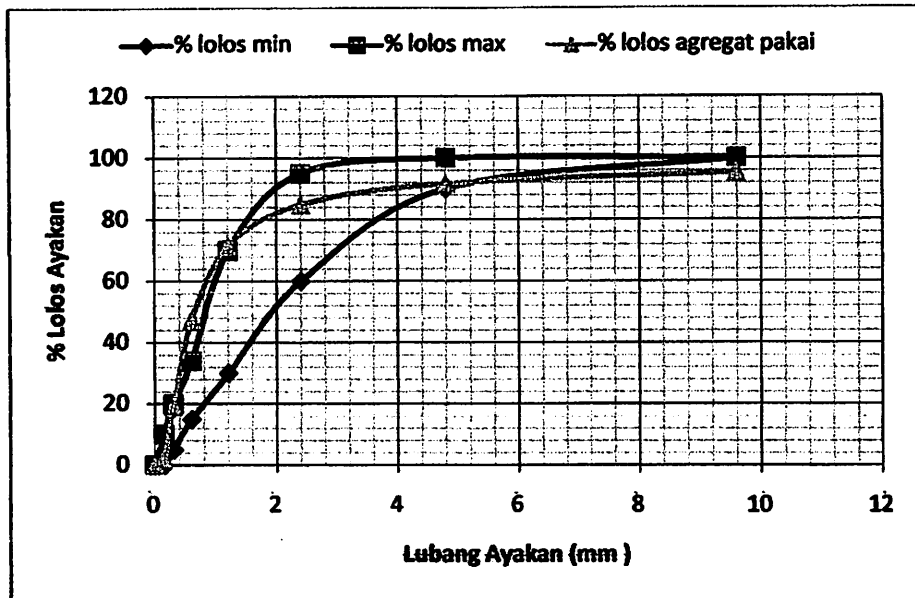
Saringan No.	Bukaan (mm)	Berat tertahan (gr)	kumulatif tertahan (gr)	Persen (%)	
				% Tertahan	% Loks
3"	76.2	0	0	0.00	100
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100
3/4"	19.1	69.5	69.5	1.10	98.90
3/8"	9.6	224.4	293.9	4.67	95.33
#4	4.75	230.9	524.8	8.34	91.66
#8	2.36	427.5	952.3	15.14	84.86
#16	1.18	843	1795.3	28.54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

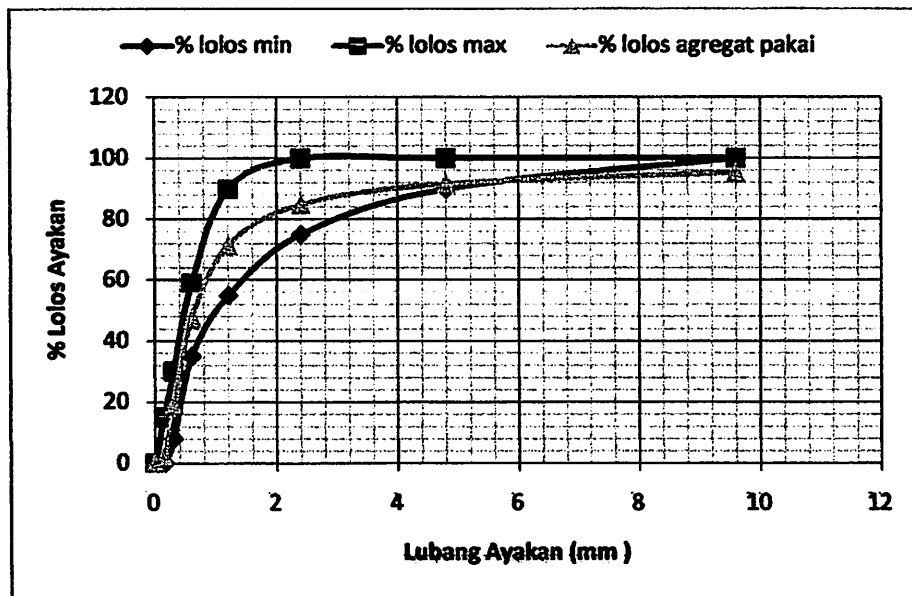
Tabel 2 Penentuan Grading Zone

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

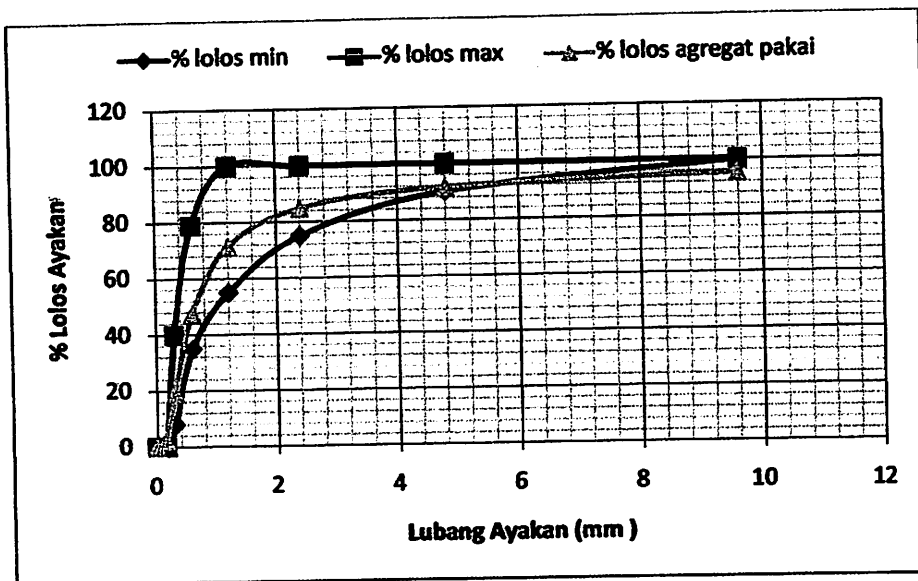
Sumber : SNI-03-2834-1993



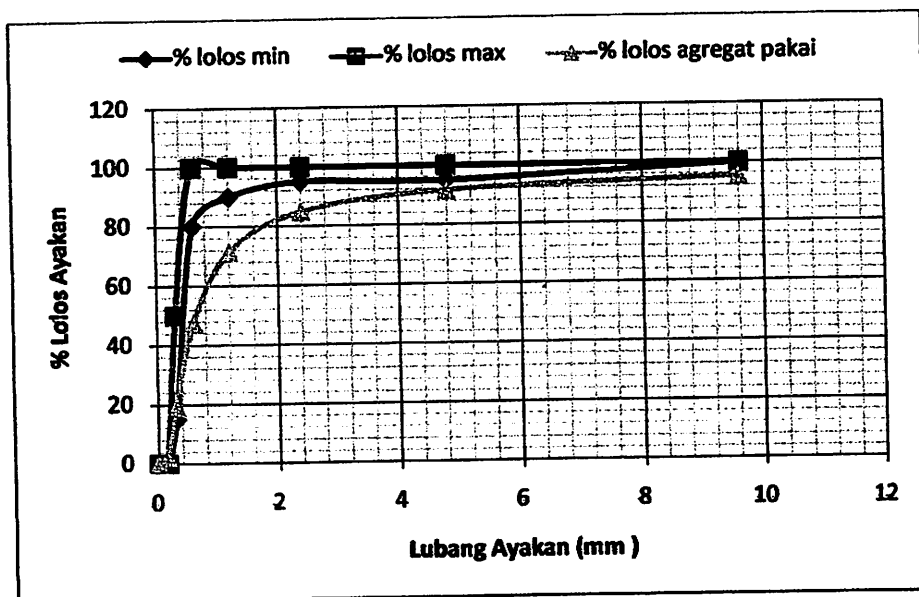
Gambar 1.1 Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 1



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 :

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

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 110^oc.

- 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 diamlkan 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 (cm³).

Dari hasil analisa, diperoleh berat isi agregat halus; kondisi lepas adalah 1.663 gr/cm³; kondisi padat adalah 1.756 gr/cm³.

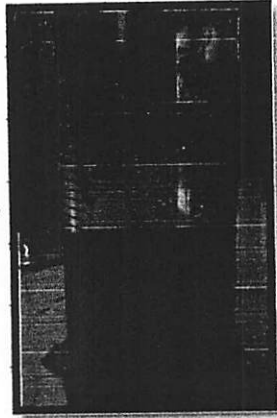
Tabel 6 Analisa berat isi agregat halus

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 dimasukkan 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

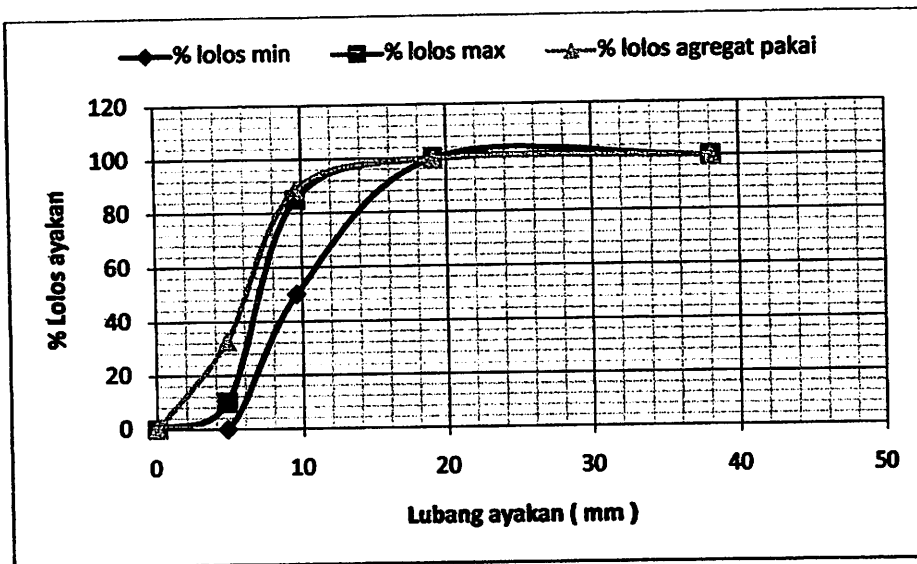
Sumber : SNI-03-2834-1993

Tabel 9 Analisa saringan agregat kasar pakai

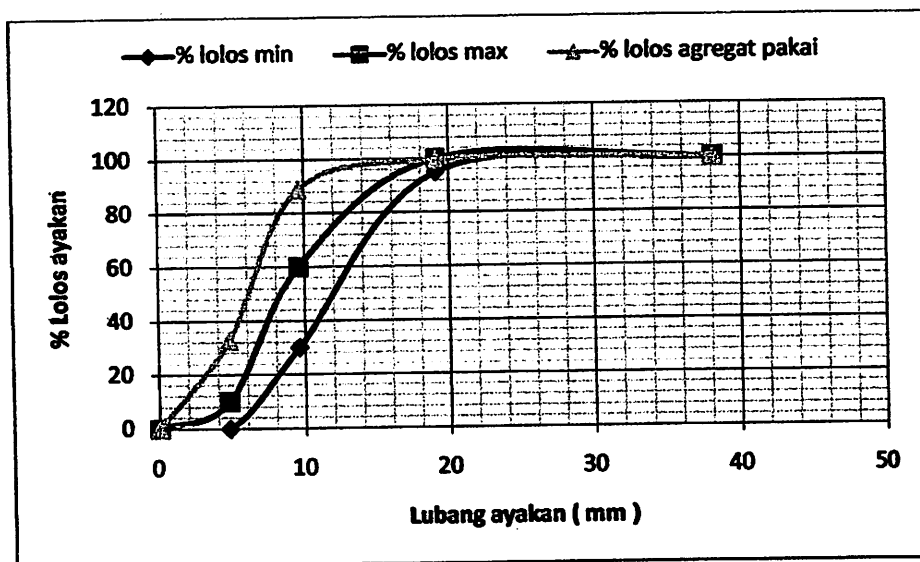
Berat contoh kering : 15160 gr

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

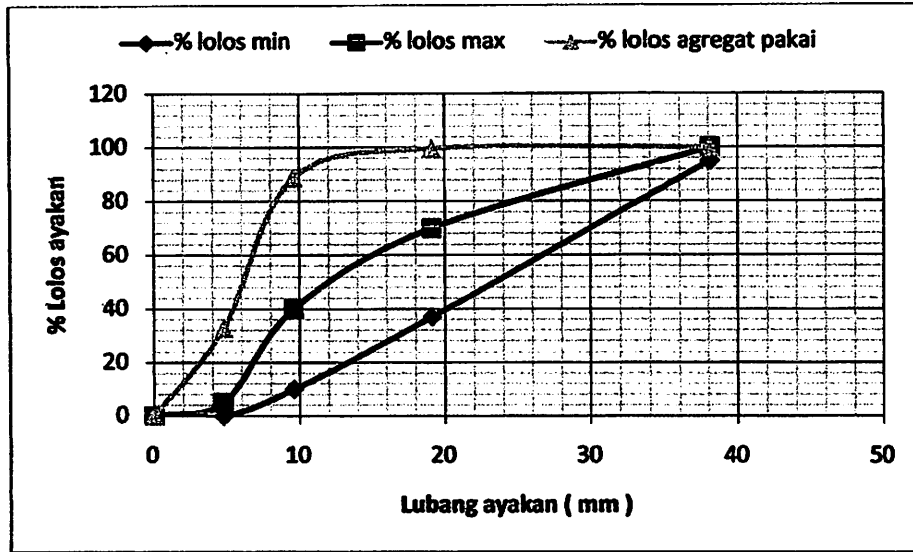
Dari hasil analisa diketahui bahwa kerikil yang digunakan berukuran maksimal 10 mm.



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 $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ c}$.
 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 : 3.921% dan dalam keadaan jenuh permukaan: 1.423%.

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 110^oc.
 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 :

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

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

Dari hasil analisa, diperoleh penyerapan air agregat kasar adalah 3.659%

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 kasar 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 kasar; 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. ($\varnothing 6 = 5.4 \text{ mm}$ dan $\varnothing 8 = 7.4 \text{ mm}$). Parameter pengujian dimasukkan.
 3. Letakan benda uji pada tempat penarikan. Kemudian operasikan mesin.

Dari hasil pengujian diperoleh :

$\varnothing 6 \text{ mm}$ (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.

$\varnothing 8 \text{ mm}$ (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 (<i>Newton</i>)	Tegangan Leleh (f_y) MPa.	Tegangan Putus (f_s) MPa.	Regangan (%)
1	5.4 A	22.90	10740.80	378.27	468.99	67.56
2	5.4 B	22.90	10667.30	370.99	465.78	62.93
3	5.4 C	22.90	10089.10	361.58	440.53	60.36
Rata - rata				370.28	458.43	63.62
No	Specimen $\varnothing 8$	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (<i>Newton</i>)	Tegangan Leleh (f_y) MPa.	Tegangan Putus (f_s) MPa.	Regangan (%)
1	7.4 A	43.01	23324.00	413.34	542.31	75.29
2	7.4 B	43.01	23304.40	414.03	541.86	83.91
3	7.4 C	43.01	22481.20	383.49	522.72	83.64
Rata - rata				403.62	535.63	80.95

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

I. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

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

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

A. Data-data perhitungan :

1. Semen : Merek Gresik PPC
2. Pasir : Alami
Gradasi : Zona 2 (lamp. no.)
Berat jenis SSD : 2.730 (lamp. no.)
Kadar air SSD : 1.164 % (lamp. no.)
Kadar air asli : 3.556 % (lamp. no.)
Penyerapan air : 0.959 % (lamp. no.)
Berat isi lepas : 1.663 gr/cm³ (lamp. no.)
Kadar lumpur : 0.262 % (lamp. no.)
Kotoran organik : Warna bening (lamp. no.)
penurunan kekuatan 0 %
3. Kerikil : Batu pecah
Ukuran maks. : 10 mm (lamp. no.)
Berat jenis SSD : 2.599 (lamp. no.)
Kadar air SSD : 3.921 % (lamp. no.)
Kadar air asli : 1.423 % (lamp. no.)
Penyerapan air : 3.659 % (lamp. no.)
Kehausan : 26.716 % (lamp. no.)
Berat isi lepas : 1.300 gr/cm³ (lamp. no.)

B. Metode perencanaan campuran :

I. Langkah I :

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

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

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

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

diambil yang terbesar.

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

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

Direncanakan menggunakan $f'_c = 22.5$ Mpa. pada umur 28 hari
 Deviasi standar digunakan (S) = $60 \text{ kg/cm}^2 = 6$ Mpa.

Maka :

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

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

digunakan yang terbesar, yaitu = 32.98 Mpa.

Tabel 1 : Deviasi Standar Berdasarkan Isi Pekerjaan

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

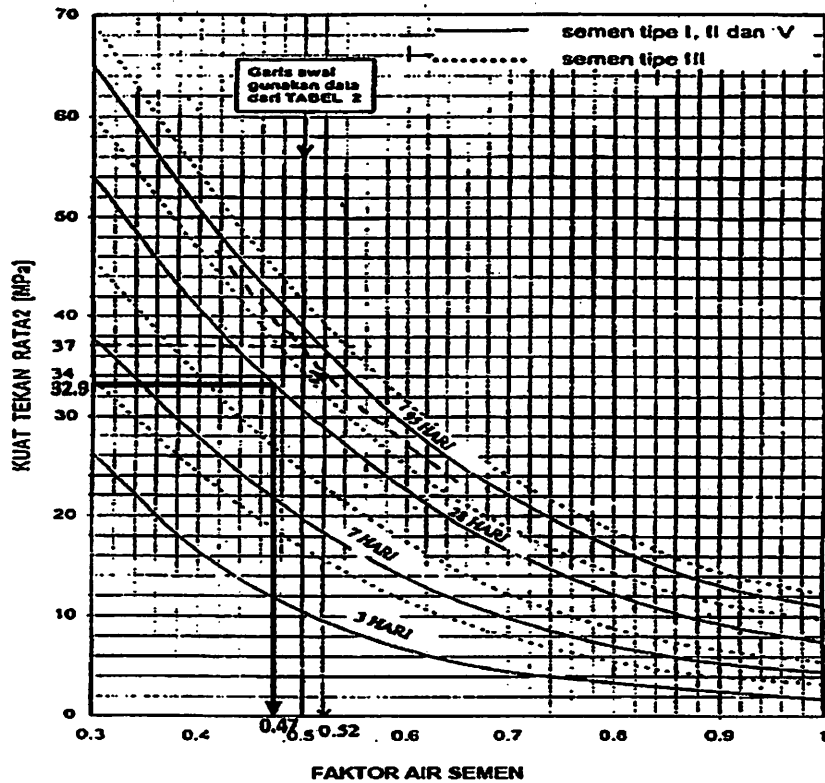
Tabel 5 Kuat tekan rata-rata perlu jika data tidak tersedia untuk menetapkan deviasi standar

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

II. 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).

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



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

III. Langkah III :

Menentukan kadar air bebas. Kadar air bebas ditentukan berdasarkan tabel 3, menurut data-data yang telah ditetapkan yaitu berupa ukuran agregat maksimum, jenis agregat kasar, jenis agregat halus, dan nilai slump rencana.

Penentuan besar kadar air bebas adalah :

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

Dimana : W_h = jumlah air bebas agregat halus.

W_k = jumlah air bebas agregat kasar.

Ukuran maksimum 10 mm, agregat halus; alami, agregat kasar; batu pecah, dan nilai slump rencana 60-180 mm. Dari tabel 3 diperoleh :

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

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

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

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

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

IV. Langkah IV :

Menentukan jumlah semen. Jumlah semen ditentukan berdasarkan rumus :

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

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

V. 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).

Faktor air semen : 0.47

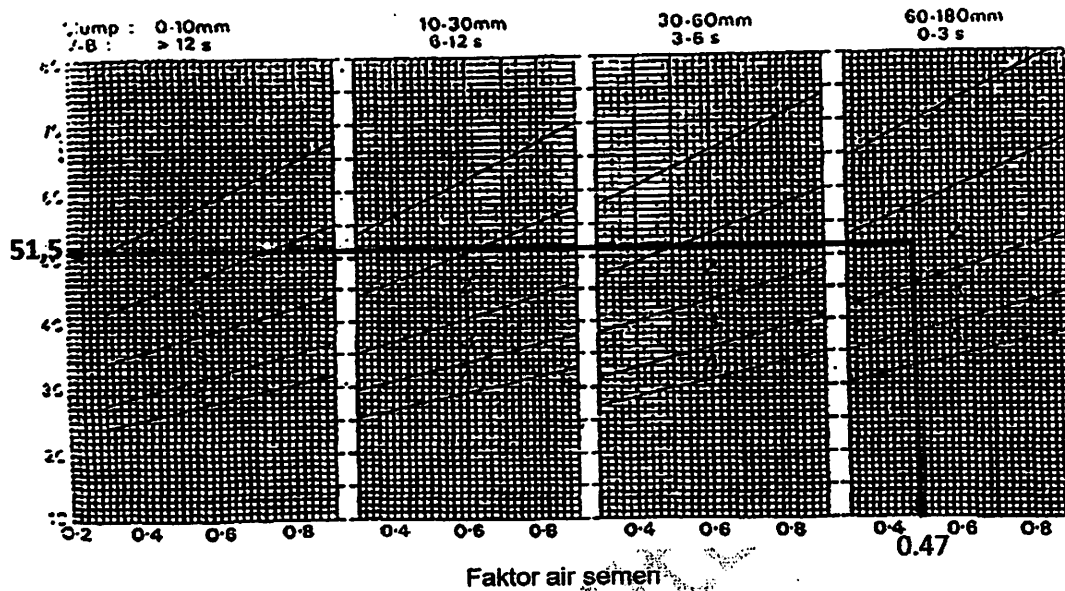
Zona Pasir : 2

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

Ukuran agregat maksimum : 10 mm



Grafik 13 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm

VI. 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)

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

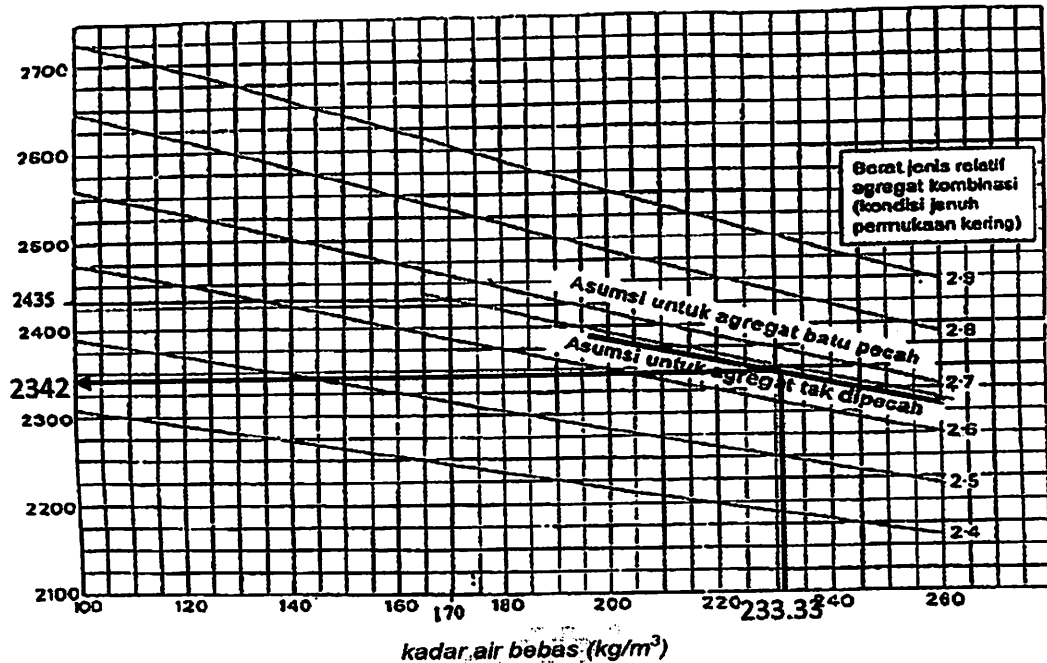
VII. Langkah VII :

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.

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

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

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



Grafik 16 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

VIII. 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 :

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

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

IX. 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

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

Kelebihan air pada agregat kasar

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

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

Maka proporsi campuran benda uji per m³ adalah :

Semen : 496,5 kg/m³
Agregat halus : 849.89 kg/m³
Agregat kasar : 763.105 kg/m³
Air : 232.505 kg/m³

II. Perhitungan Kebutuhan Bahan Campuran Untuk Percobaan

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

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

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 m^3

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

III. Perhitungan Kuat Tekan Beton Hasil Mix Design

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 22 Perhitungan kuat tekan rencana perhitungan

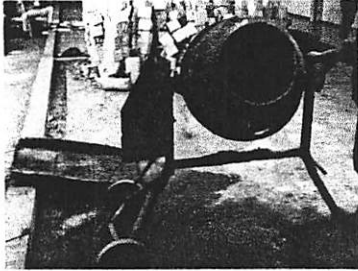
Kode	Berat (kg)	Beban tekan maksimum (N) (P)	Luas bidang tekan (mm ²) (A)	Konversi Uji tekan pada umur 3 hari (β)	Kuat tekan ($f'c$) (MPa) (P/A* β)
BB-1	12.15	220000	17671.46	0.4	31.13942
BB-2	12.15	220000	17671.46	0.4	31.13942
BB-3	12.15	270000	17671.46	0.4	38.21656
Rata - rata					33.49847

Tabel 23 Perhitungan Kuat Tekan Hasil Penelitian

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

GAMBAR ALAT YANG DIGUNAKAN

1. Concrete mixer : Mesin pencampur beton



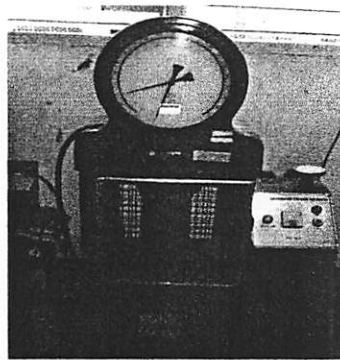
2. Peralatan Slump test : Digunakan untuk pengujian slump dari suatu adukan beton saat akan pengecoran



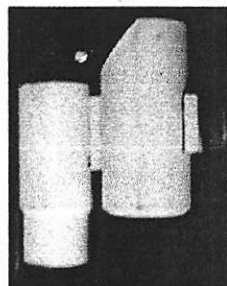
Tongkat pemadat : memadatkan adukan beton di dalam cetakan

Kerucut Abram : Tempat adukan beton

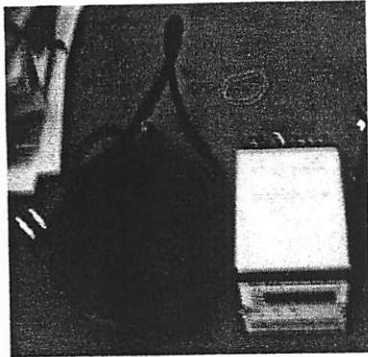
3. Alat uji tekan beton : Digunakan untuk pengujian kuat tekan beton



4. Crack Detector : Alat pengukur lebar retak



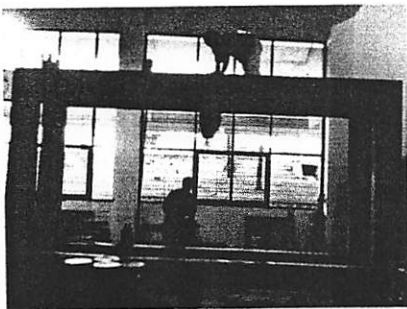
5. MVD Amplifier : Alat baca digital lendutan



6. LVDT : Alat ukur lendutan



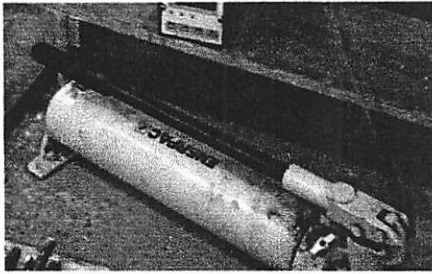
7. Frame uji lendutan : Tempat benda uji balok beton yang akan di uji



8. Proving ring : Palat pembacaan beban yang akan diberikan ke balok



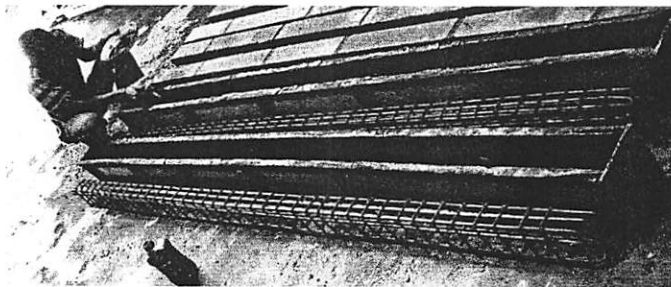
9. Hidraulic jack : Alat tekan



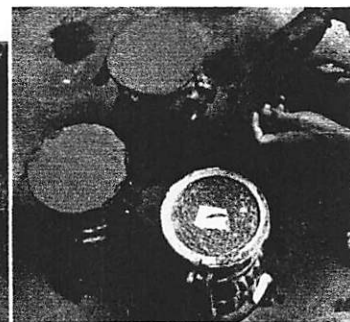
10. Timbangan : Digunakan untuk menimbang bahan atau material



11. Cetakan Beton : tempat adukan beton yang akan dituang

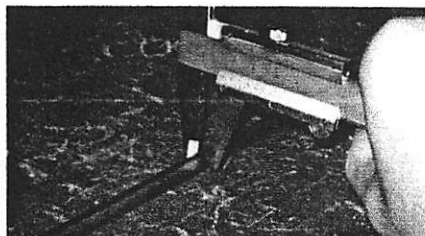


Cetakan balok



Cetakan silinder

12. Jangka Sorong : Untuk mengukur diameter tulangan



LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

TEST REPORT

0126

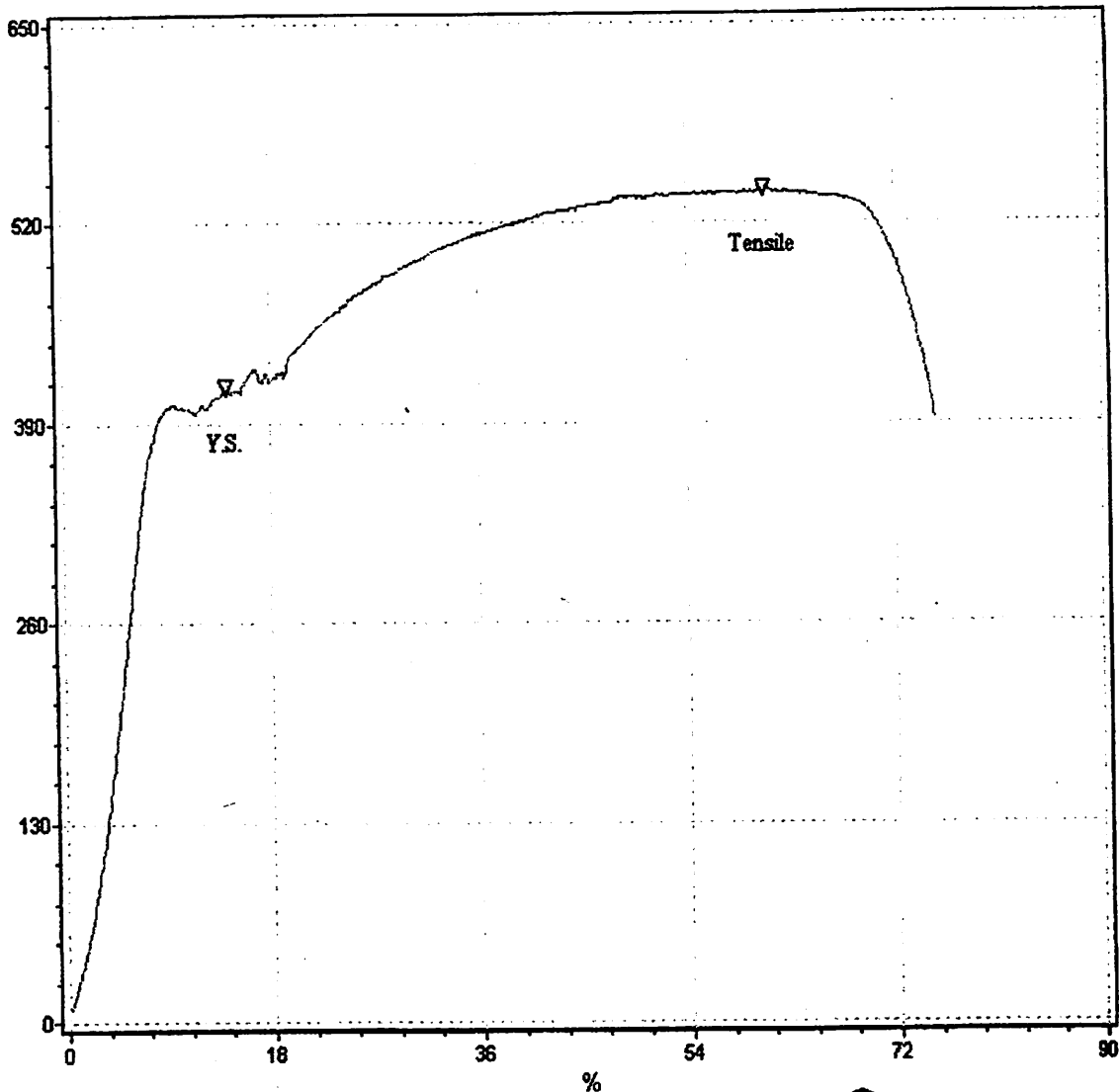
Test Description : TENSILE

Standard : ASTM A370

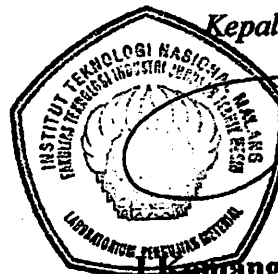
Test Date: 06/27/2011

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 :



Konang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

2011

TEST REPORT

No: 0127

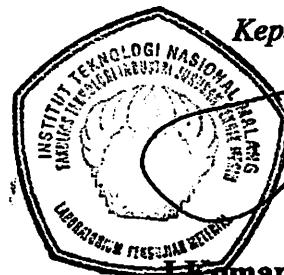
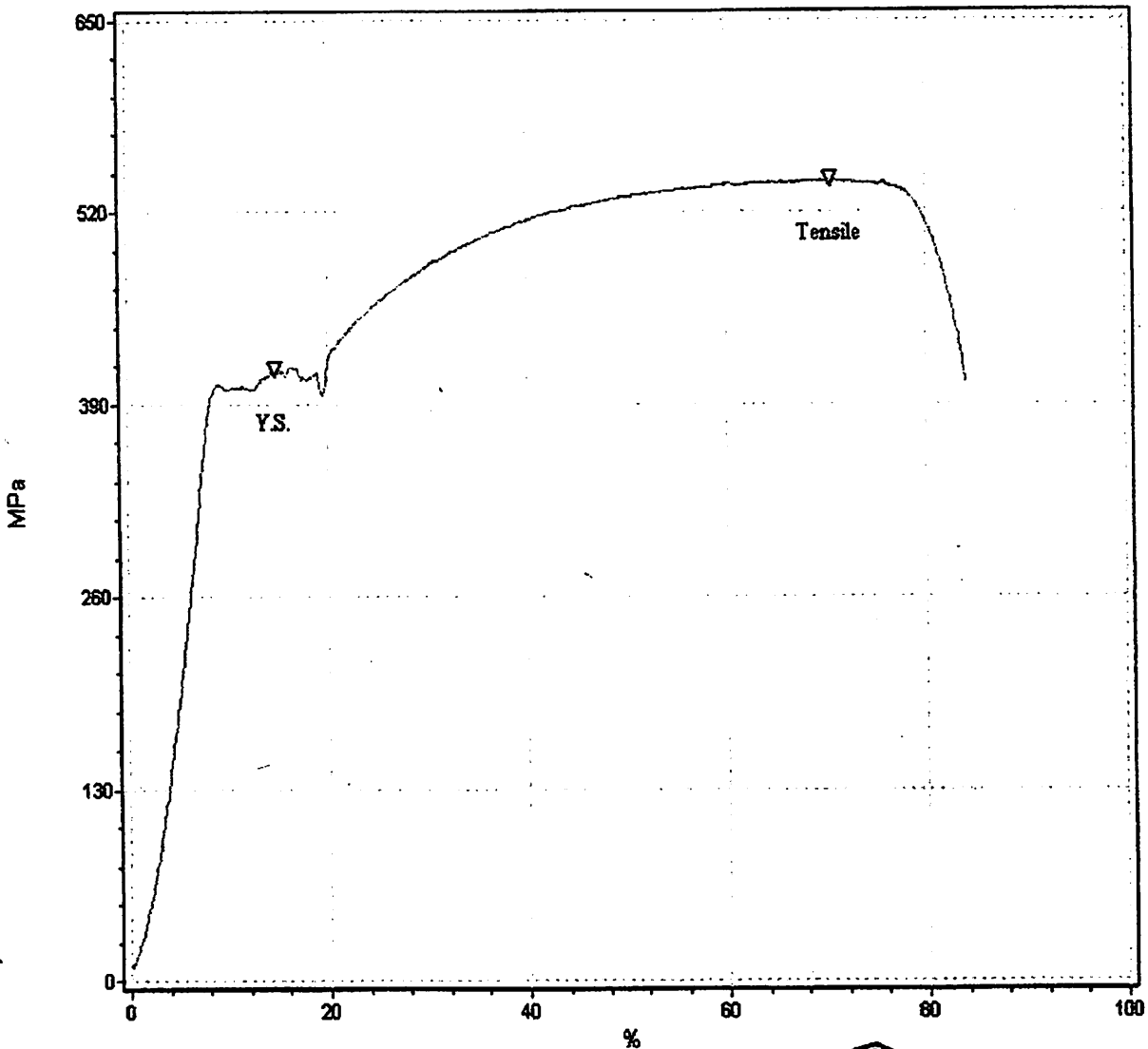
Test Description : TENSILE

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 . B	43.01	23304.40	414.03	541.86	83.91

0127-01



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. HAYA KARANGLU KM. 2 TIASIK MALU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634

2011

TEST REPORT

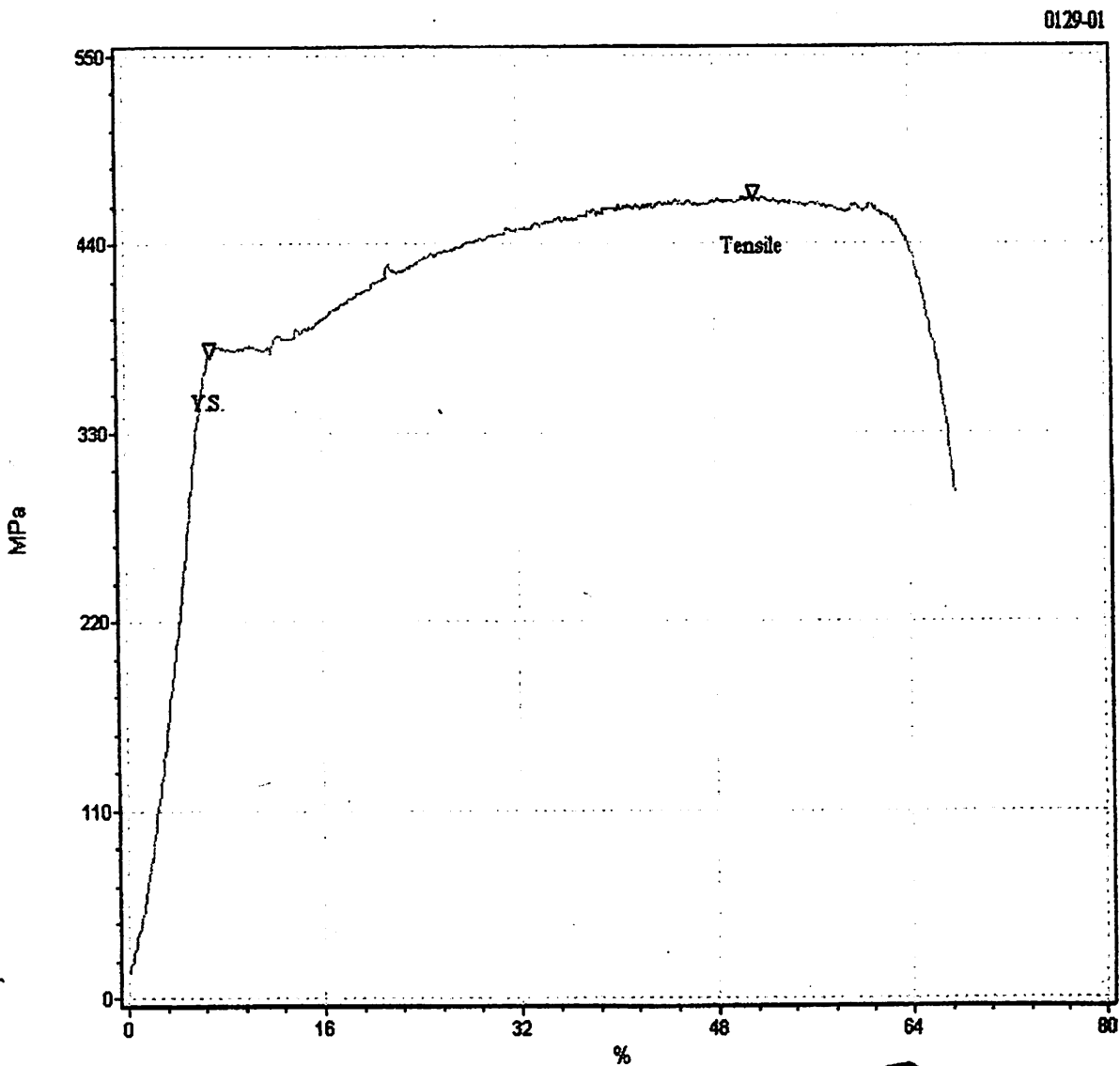
No.: 0129

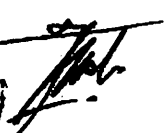
Test Description : TENSILE

Standard : ASTM A370

Test Date: 06/27/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
BAJA POLOS 5.4 .A	22.90	10740.80	378.27	468.99	67.56



Kepala Laboratorium :



Konang Astana Widi, ST.MT
NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KARANGLU KM. 2 TASIK MALU - MALANG
TELP: (0341) 417834, 417836, 417837 FAX: 0341-417834
2011

TEST REPORT

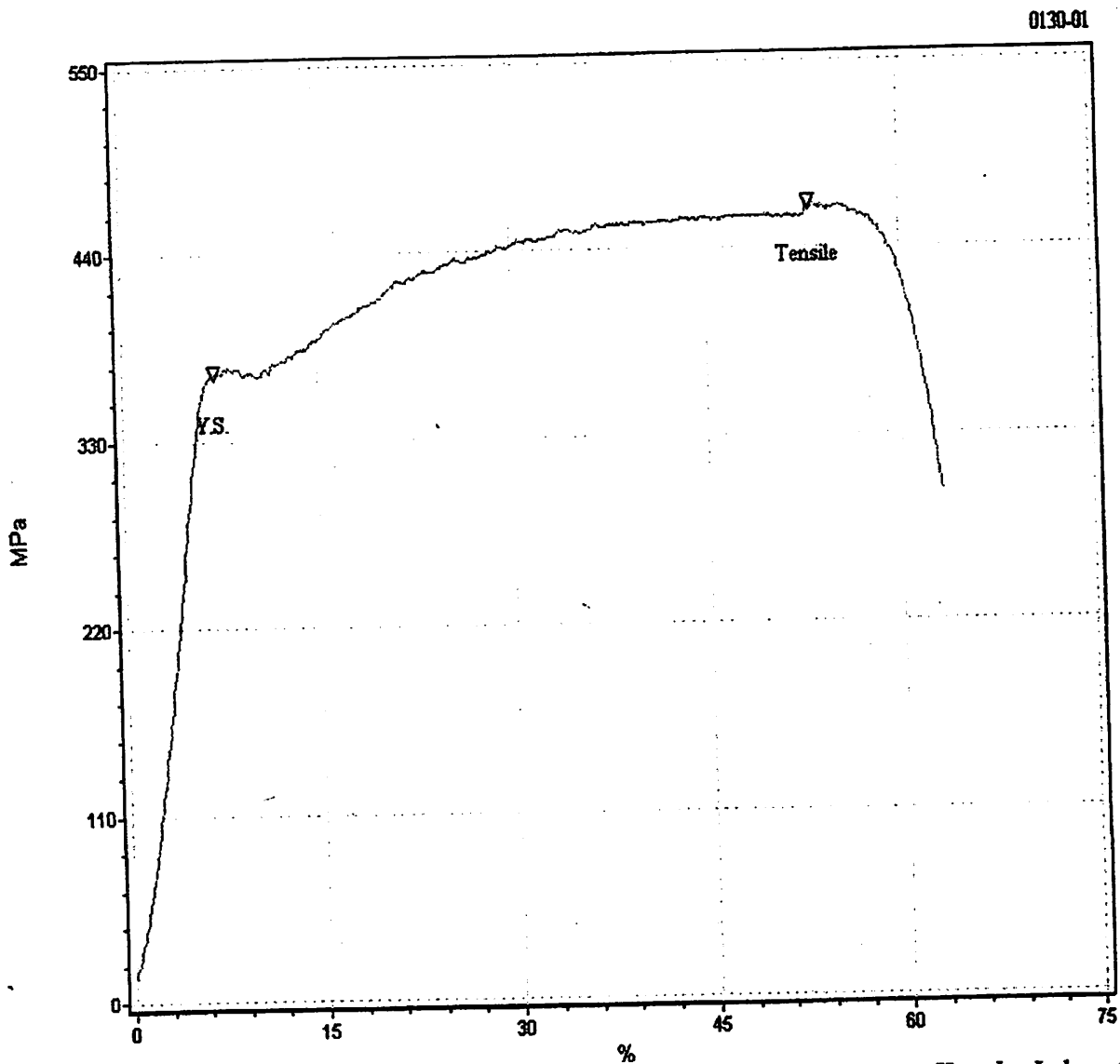
0130

Test Description : TENSILE

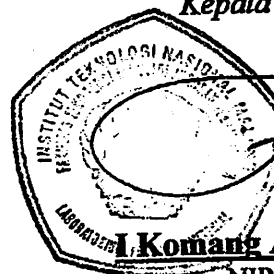
Standard : ASTM A370

Test Date: 06/27/2011

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



Kepala Laboratorium :



Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KARANGLU KM. 2 TESIS MAJU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417638, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

Test No.: 0131

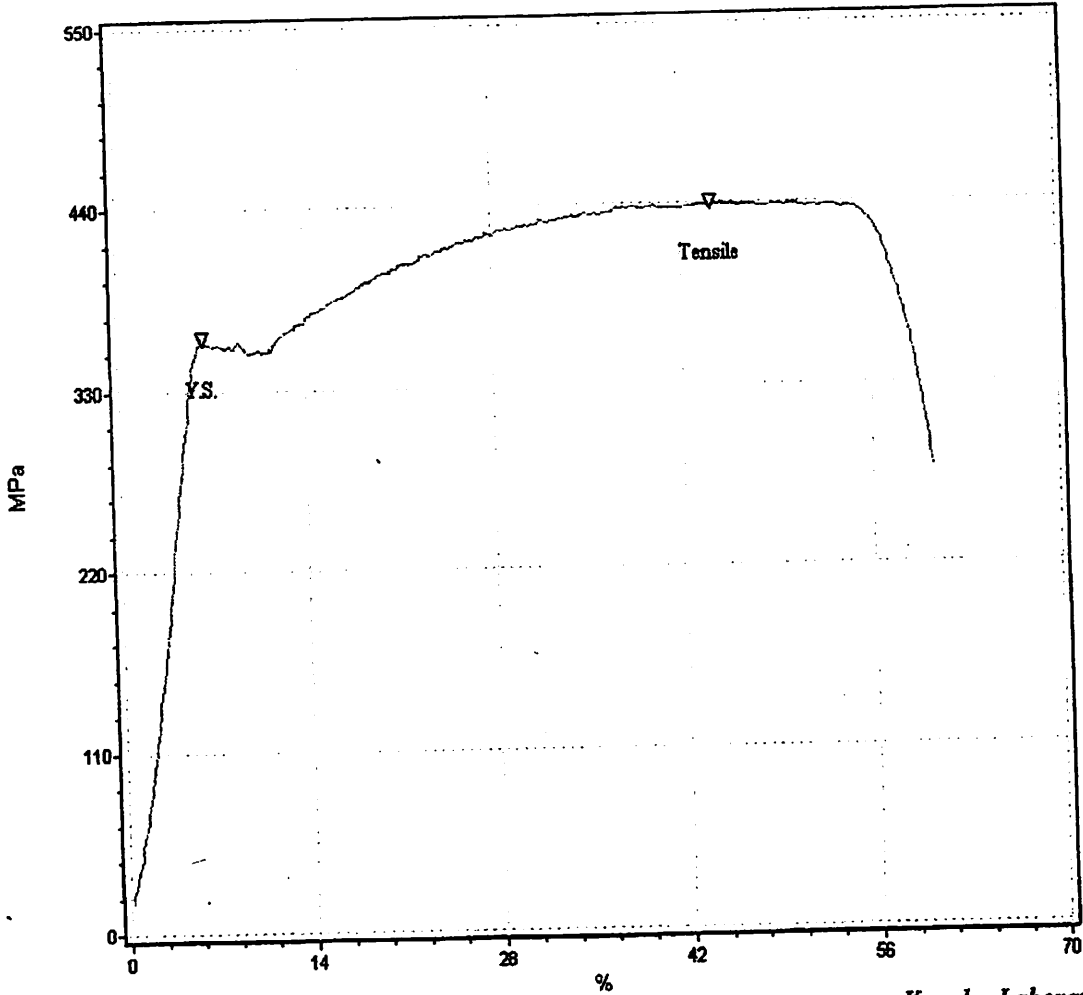
Test Description : TENSILE

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 :



Komang Astana Widi, ST.MT
 NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 KAMPUS II JL. RAYA KAKANGLU KM. 2 IASIK MADU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

0128

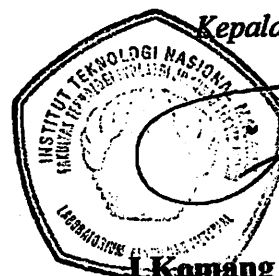
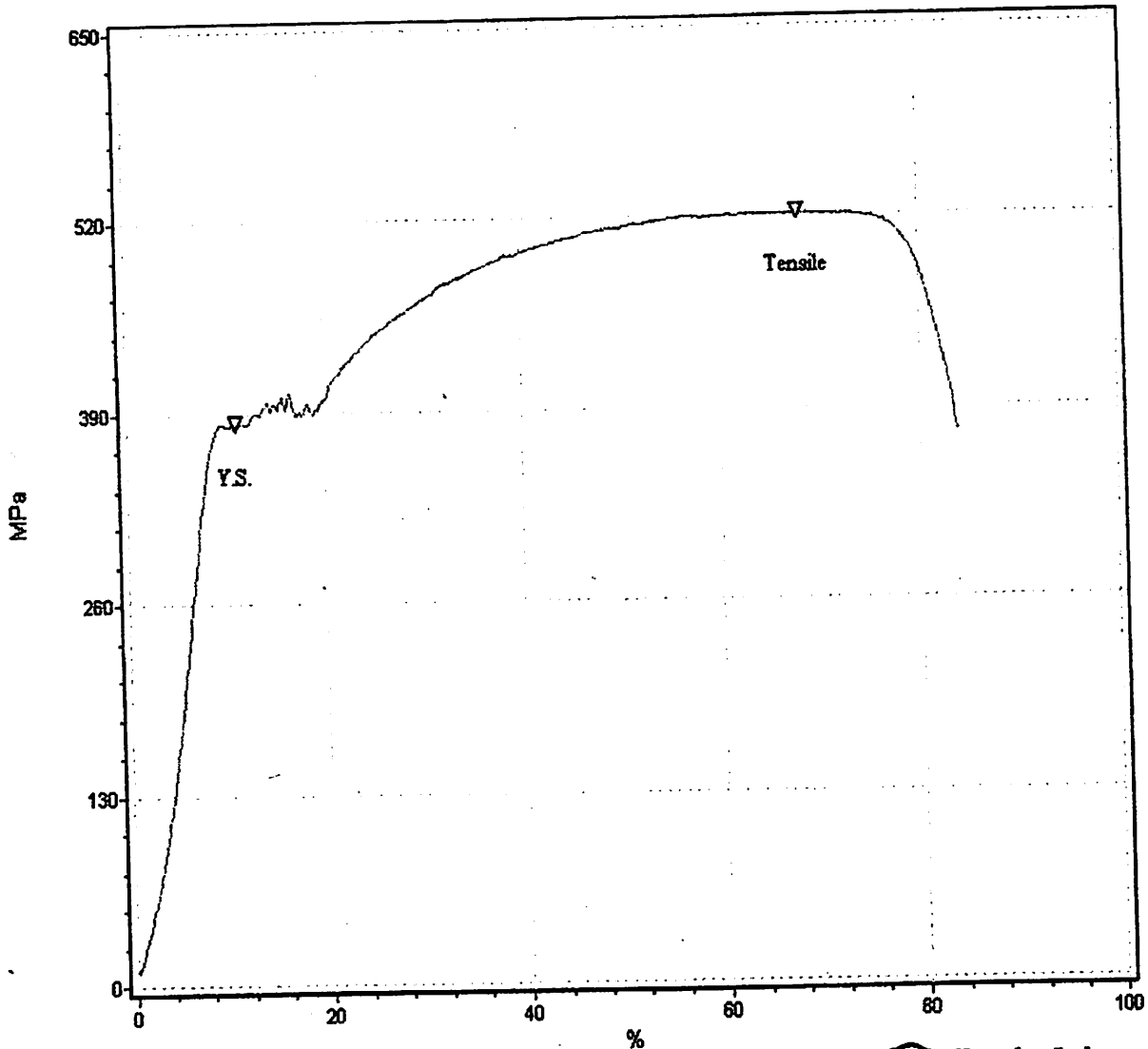
Test Description : TENSILE

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

0128-01



Kepala Laboratorium :

L. Komang Astana Widi, ST.MT
 NIP Y. 1030400405




SURAT KETERANGAN
No : 142 /LBK.FT/X/2011

Yang bertanda tangan di bawah ini, Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Menerangkan bahwa :

N a m a : **Wahyu Budianto**
Nim : **08.21.903**
Lembaga : **Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional**

Telah melakukan pengujian kuat lentur Balok di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi pada bulan Juli 2011
Demikian Surat Keterangan ini untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 31 Oktober 2011
Kepala Laboratorium


Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS
NIP 1951121171981032001



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Bend. Sigurgura No.2 Malang Telp. (0341) 551431

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Wahyu Budianto
NIM : 08.21.903
Dosen Pembimbing : Ir. Bambang Wedyantadji.MT

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
1	15/7/11	- Revisi, tujuan & babasan masalah sesuai ke - qbr = Buat ulang - Bab III ke bab I dg Cara penulisan & pembacaan - uji material, masalah layanan	
2	3-8-2011	- Tahapan pengajaran teleskopi di Metodologi - Rumenjari kelas Red di - Hutan Petak awal teoritis dan Realistik	
3	9/8-2011	Hasil penelitian: kendaraan alat BS hrs. diperhitungkan	
4	19-8-2011	1/2 meter Beton eksperimen semua di uji jadi satu	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl.Bend.Sigura-gura No.2 Malang Telp.(0341) 551431

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Wahyu Budianto
NIM : 08.21.903
Dosen Pembimbing : Ir.Bambang Wedyantadji.MT.

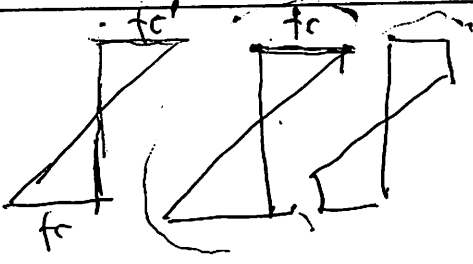

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
5	4-10-2011	grafik ² Supermarket Susu semua merk	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl.Bend.Sigura-gura No.2 Malang Telp.(0341) 551431

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Wahyu Budianto
NIM : 08.21.903
Dosen Pembimbing : Ir.H.Sudirman Indra.M.Sc

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	23/08/08	 Akan y. yin Honal	



FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG Penelitian

Nama : Wahyu Budizento

NIM : 08.21.903

Hari / tanggal : Kamis / 17-11-2011

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

- < Pelajaran tujuan dan hasil yg kaudara dapat
- Validasi teoritis & Eksperimental
- Kesimpulan di cek lagi → cek lagi!
- Menapa nilai f_c Eks
- $\gg \gg f_c$ rencana ??
- kurva = di cek lagi y/
- lebatan besar berapa p juga naik?
- Gratik & dan tabel = harus ada
- Critanya!

Handwritten signature

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

Pengumpulan berkas untuk Ujian Skripsi dengan menyertakan lembar pengesahan dari Dosen Pembahas dan Kaprodi

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 01/12 — 20 11
 Dosen Pembahas

Handwritten signature
 YOSIMSON MA

Malang, 17/11 — 20 11
 Dosen Pembahas

Handwritten signature
 Yosimzon Mancha



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG STRUKTUR (PENELITIAN)

Nama : 08.21.903
NIM : WAHYU BUDIANTO
Hari / tanggal : Kamis, 17 Nop. 2011

Perbaiki materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

$f_c' \text{ awal} = 22,5 \text{ MPa}$
 $f_c' \text{ eksperimen} = +29 \text{ MPa} \checkmark$

⊕ pembahasan $P_{ult} \text{ normal} = 669,4 \text{ kg}$ → $\delta = \dots \text{ mm}$
 $\delta_2 = \dots \text{ mm}$
 $\delta_3 = \dots \text{ mm}$

perbaiki grafik 4.25

cek ketimpakan ds. RM

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

Pengumpulan berkas untuk Ujian Skripsi dengan menyertakan lembar pengesahan dari Dosen Pembahas dan Kaprodi

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 28 - 11 - 2011

Dosen Pembahas

Malang, 17 - Nop - 2011

Dosen Pembahas

FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG penelitian

Nama : Wahyu Budiarto

NIM : 08.21.902

Hari / tanggal : Sabtu, 07-01-2012

Revisi materi Skripsi meliputi :

* perbaiki hitungan koriter logi
cek ϵ_1 , f_s ??

* kenapa ada 2 f_c yg di
buat, alasannya apa?

* perbaiki nilai $\beta_1 = \dots$?
untuk $f_c = 33 \text{ mpa}$ & $f_c = 29 \text{ mpa}$

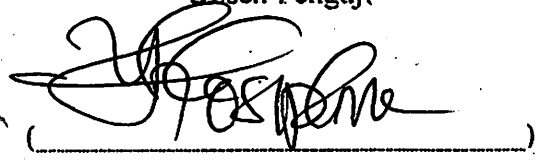
* Tambahkan nilai f_s
 \geq
 \leq
 $= f_y$

* perbaiki hitungan $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 \rightarrow$ gambar
ditambah
 \Rightarrow kesimpulan

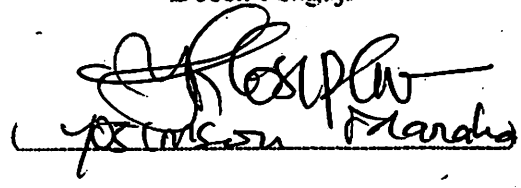
Revisi Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian
Klasikan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium.

Revisi Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 31-01-2012
Dosen Penguji



Malang, 07-01-2012
Dosen Penguji





FORM REVISI / PERBAIKAN
 BIDANG Penelitian Beton

Nama : WAHYU BUDIANTO
 NIM : 08.21.903
 Hari / tanggal : Sabtu, 07/01/2012

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

~ perbaiki sesuai arahan (kertas yg. dilipat) ✓
 ~ jabarkan $M_{maks} = \frac{1}{8} q L^2$
 $M = \frac{1}{4} PL$

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

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

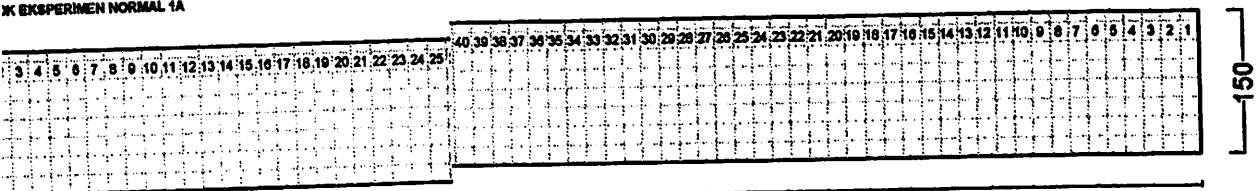
Malang, 02-02-2012

Dosen Penguji

Malang, 07-01-2012

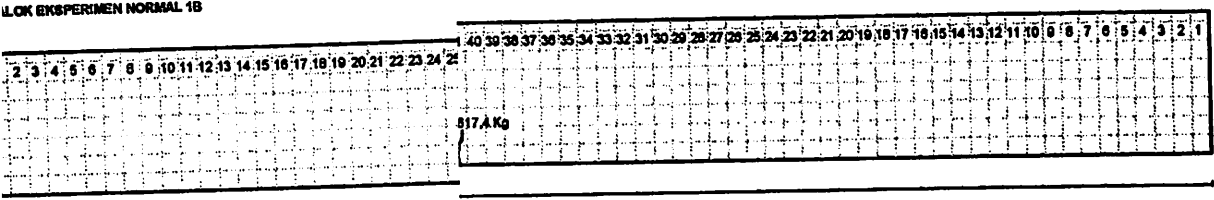
Dosen Penguji

LOK EKSPERIMEN NORMAL 1A



150

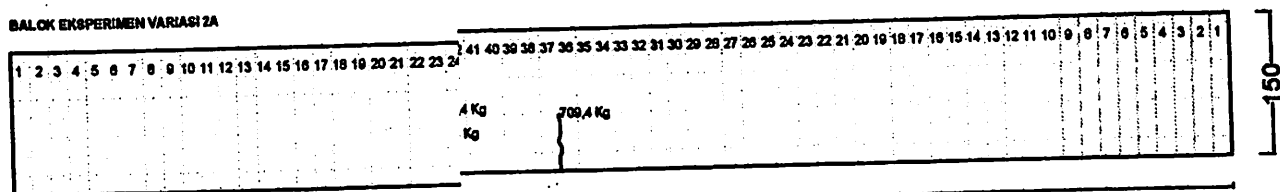
LOK EKSPERIMEN NORMAL 1B



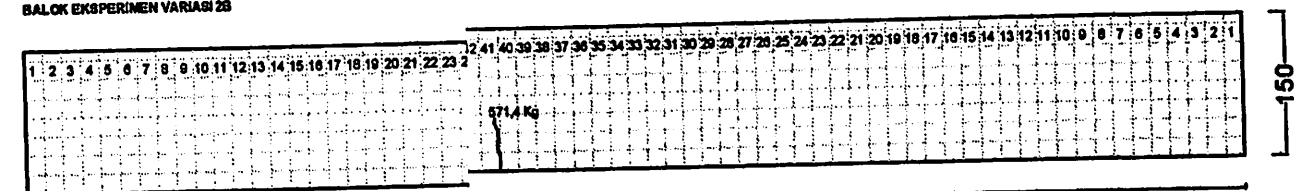
150

JUDUL		DIGAMBAR	
PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN INDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 2 Ø 7.4 DAN TEKAN 2 Ø 7.4		WAHYU BUDIANTO 0821903	
AMA GAMBAR	Tanggal Pengujian	No lembar	Skala
REKAM BALOK BERTULANGAN 7.4 DAN TEKAN 2 Ø 7.4	22/07/2011	01	1 : 8

BALOK EKSPERIMEN VARIASI 2A

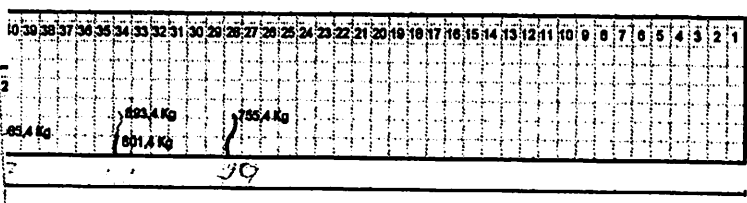
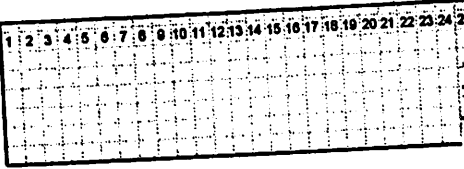


BALOK EKSPERIMEN VARIASI 2B



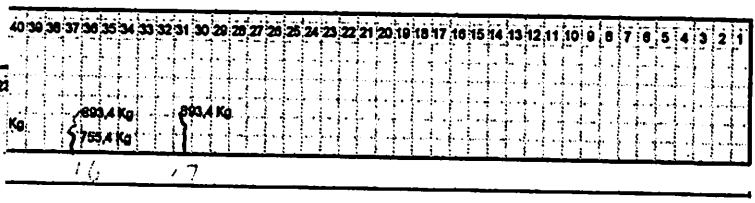
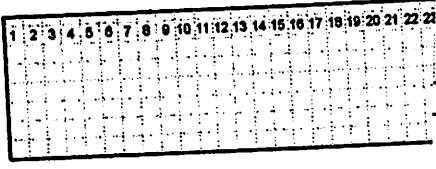
JUDUL		DIGAMBAR	
JH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 2 Ø 7.4 DAN TEKAN 5 Ø 7.4		WAHYU BUDIANTO 0821903	
NAMA GAMBAR	Tanggal Pengujian	No lembar	Skala
RETAK BALOK BERTULANGAN Ø 7.4 DAN TEKAN 5 Ø 7.4	23/07/2011	02	1:8

BALOK EKSPERIMEN VARIASI 3A



150

BALOK EKSPERIMEN VARIASI 3B



150

JUDUL		DIGAMBAR	
H PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN ENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 2 Ø 7.4 DAN TEKAN 6 Ø 7.4		WAHYU BUDIANTO 0821803	
NAMA GAMBAR	Tanggal Pengujian	No lembar	Skala
RETAK BALOK BERTULANGAN Ø 7.4 DAN TEKAN 6 Ø 7.4	23/07/2011	03	1 : 8