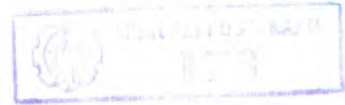


17.950/H/03



## TESIS

# PERILAKU DAKTAIL KOLOM SEGIEMPAT BERLUBANG YANG TERKEKANG PADA BETON MUTU TINGGI

Oleh :

**DARMANSYAH TJITRADI**  
NRP . 3198 202 005



RTS  
620.112 5  
Tji  
P-1  
2001

**BIDANG KEAHLIAN TEKNIK STRUKTUR  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2001**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	03/01/04
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	21.4348

# PERILAKU DAKTAIL KOLOM SEGIEMPAT BERLUBANG YANG TERKEKANG PADA BETON MUTU TINGGI

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

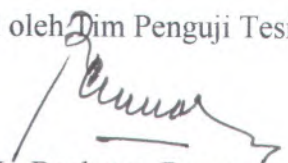
Darmansyah Tjitradi


NRP. 31 98 202 005

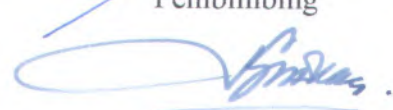
Disetujui oleh Tim Penguji Tesis :

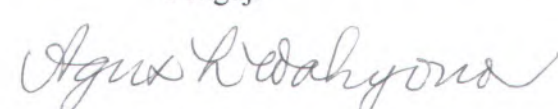
Tanggal Ujian :

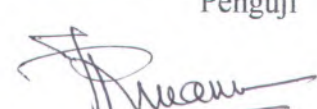
06 Juli 2001

  
1. Prof. Ir. Rachmat Purwono, M.Sc.  
Pembimbing

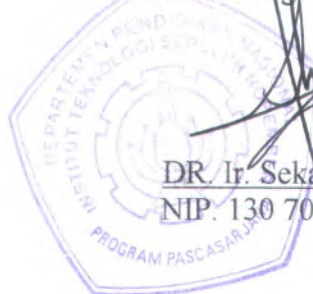
  
2. Ir. HRC. Priyosulistyo, M.Sc., PhD.  
Pembimbing

  
3. Prof. DR. Ir. I Gusti Putu Raka  
Penguji

  
4. Ir. Agus Hari Wahyono, M.Sc., PhD.  
Penguji

  
5. Ir. Mudji Irmawan, MS.  
Penguji

Direktur Program Pascasarjana :



DR. Ir. Sekartedjo, M.Sc.  
NIP. 130 701 281

# PERILAKU DAKTAIL KOLOM SEGIEMPAT BERLUBANG YANG TERKEKANG PADA BETON MUTU TINGGI

## ABSTRAK

Dalam praktek sering dijumpai pipa pralon yang dimasukkan kedalam kolom beton bertulang untuk menyalurkan air dari lantai atas ke lantai dasar. Hal ini diijinkan oleh ACI 318-95 pasal 6.3.4 selama diameter lubang tidak lebih dari 4 persen dari penampang melintang yang dipergunakan dalam perhitungan kekuatan. Peraturan tersebut berlaku untuk beton mutu normal dan tidak menyinggung masalah daktilitasnya. Saat ini industri konstruksi mulai banyak menggunakan beton mutu tinggi oleh karena itu tujuan utama penelitian ini mencoba untuk mengetahui perilaku momen lentur dan daktilitas kolom beton bertulang dengan mutu tinggi (60 MPa) yang berlubang.

Prediksi kekuatan dan daktilitas kurvatur secara analisa analitis pada penampang kolom beton bertulang dilakukan berdasarkan pada kesesuaian hubungan tegangan-regangan beton mutu tinggi yang terkekang dari hasil penelitian Azizinamini,dkk.(1994). Hasil analitis akan dibandingkan dengan hasil uji eksperimen. Eksperimen dilakukan pada tujuh benda uji kolom pendek berukuran 200 x 200 mm dengan rasio lubang 0 %, 4,52 %, 7,07 % dan 11,04 % dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap yang berbeda tingkat pengekangannya. Masing-masing benda uji dibebani dengan beban aksial tetap sebesar 50 ton atau 0,21.fc'.Ag dan beban transversal yang secara berangsur-angsur meningkat sampai benda uji runtuh.

Hasil dari pengujian laboratorium yang terbatas ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase lubang, maka kekuatan lentur, daktilitas perpindahan dan daktilitas kurvatur kolom akan semakin rendah. Momen lentur nominal dari hasil pengujian semua kolom menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan momen lentur nominal menurut peraturan ACI. Walaupun kolom yang mempunyai persentase lubang kurang dari 4 % dan juga penampang tanpa lubang dengan rasio tulangan pengekangan  $\rho_s = 0,022$  % nilai kapasitas daktilitas kurvatur tidak lebih dari 4. Ini berarti bahwa kolom beton bertulang yang menggunakan beton mutu tinggi membutuhkan pengekangan yang lebih dari  $\rho_s = 0,022$  % untuk menghasilkan daktilitas kurvatur yang lebih tinggi. Analisa analitis menunjukkan nilai kapasitas lentur yang lebih rendah kira-kira sebesar 25% dari hasil eksperimen, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk membuktikan perbedaan tersebut.

**Kata kunci :** kolom segiempat berlubang, daktilitas, beton terkekang, beton mutu tinggi

# THE DUCTILITY BEHAVIOR OF HOLLOWED RECTANGULAR SECTION COLUMNS OF CONFINED HIGH-STRENGTH CONCRETE

## ABSTRACT

In the practice, it is often found that hard plastic pipes are casted into reinforced concrete columns for water drains from the top floor to the ground level. This is allowed by the ACI 318-95 section 6.3.4 as long as hole diameter are not more than 4 percent of the cross section used in strength calculations. This rule is meant for Normal-Strength Concrete and does not mention the ductility requirements. Until recently, the construction industry begin to use High-Strength Concrete, therefore, the primary objective of this research is trying to know the behavior of flexural strength and ductility of reinforced concrete columns with the High-Strength Concrete (60 MPa) that has a hole.

Analytical analysis predicting the strength and curvature ductility of the reinforced concrete column sections are performed based on compatibility of confined concrete stress-strain relations introduced by the research result of Azizinamini, et.al. (1994). These analytical results will be compared with experimental results. The experiment is done on seven short column tested specimens with the size of 200x200 mm and hole ratio 0 %, 4.52 %, 7.07 % and 11.04 % with single stirrup reinforcement and double stirrup reinforcement that has different degrees of confinement. Each tested specimen is loaded with a constant axial load of 50 tons or  $0.21 f_c' A_g$  and a transversal load that gradually increases up to its flexural failure.

Results of these limited laboratory test showed that the bigger the hole percentage, the lower the flexural strength, displacement ductility and the curvature ductility. Compared to the ACI code's nominal flexural strength, all the tested column showed a higher flexural strength capacity. However all the columns having a hollow percentage less than 4 % as well non hollowed section with a confinement reinforcement ratio  $\rho_s = 0.022$  % showed a curvature ductility capacity not more than 4. This means that reinforced concrete columns using High-Strength Concrete need more confinement than  $\rho_s = 0.022$  % to produce higher curvature ductility. Analytical analysis show a underestimate flexural capacity of about 25 % than the experiment results, indicating that further research is needed to identify the deviations.

**Keywords** : hollowed rectangular section column, ductility, confined concrete, high-strength concrete

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmatNya sehingga selesainya tesis ini yang berjudul "***PERILAKU DAKTAIL KOLOM SEGIEMPAT BERLUBANG YANG TERKEKANG PADA BETON MUTU TINGGI***"

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademis dalam memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.), Bidang Keahlian Teknik Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Ir.Rachmat Purwono, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang sangat membantu dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak Ir.HRC.Priyosulistyo, M.Sc.,PhD., selaku dosen pembimbing yang sangat membantu kelancaran pengujian dan penyusunan tesis ini.
3. Bapak DR.Ir.R. Soekrisno, MSME., selaku kepala Lab. Mekanika Bahan PAU UGM Yogyakarta.
4. PT. Jaya Ready Mix Yogyakarta, yang telah membantu dalam pembuatan beton mutu tinggi.
5. Instruktur dan karyawan Lab. Mekanika Bahan PAU UGM Yogyakarta, yang telah banyak membantu kelancaran dalam pengujian benda uji.
6. Dosen-dosen Bidang Keahlian Teknik Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, yang telah memberikan ilmu pengetahuan.
7. Rekan-rekan angkatan 1998 Bidang Keahlian Teknik Struktur, yang telah memberikan bantuan dan dorongan semangat sehingga selesainya tesis ini.

Penulis menyadari akan segala keterbatasan baik dari segi kemampuan penulis maupun dari fasilitas yang tersedia untuk dapat menyelesaikan tesis ini, sehingga

menjadikan tesis ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat dan berguna bagi kita semua untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2001

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar belakang .....	1
1.2. Permasalahan.....	3
1.2.1. Perumusan masalah .....	3
1.2.2. Pembatasan masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Sejarah Pengekangan Beton.....	5
2.2. Syarat Kolom Dan Pengekangan Beton Menurut Ketentuan ACI 318-95 .....	8
2.3. Daktilitas Kurvatur ( <i>Curvature Ductility</i> ).....	10
2.4. Daktilitas Perpindahan ( <i>Displacement Ductility</i> ).....	10
2.5. Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Beton Yang Terkekang .....	13
2.4. Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Tulangan Baja .....	15

<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>16</b>
3.1. Studi Pustaka.....	16
3.2. Dasar Teori.....	16
3.2.1. Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Beton Mutu tinggi Yang Terkekang .....	17
3.2.2. Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Tulangan Baja .....	18
3.2.3. Hubungan Momen-Kurvatur dan Daktilitas Kurvatur .....	18
3.2.4. Panjang Sendi Plastis Teoritis .....	18
3.3. Parameter Penelitian.....	19
3.4. Analisa Teoritis Kolom.....	19
3.5. Persiapan Material dan Peralatan Untuk Pembuatan Benda Uji.....	47
3.6. Pengujian Kombinasi Gaya Aksial dan Lentur Benda Uji Kolom .....	47
<b>BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>56</b>
4.1. Pengujian Eksperimental.....	56
4.1.1. Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi .....	56
4.1.2. Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja.....	57
4.1.3. Pengujian Benda Uji Silinder Beton .....	58
4.2. Spesifikasi Benda Uji Kolom.....	58
4.3. Pengujian Pembebanan Benda Uji Kolom.....	64
4.4. Hasil Pengujian Benda Uji Kolom.....	74
4.4.1. Analisa Momen-Daktilitas Kurvatur Hasil Uji Eksperimen .....	75
4.4.2. Analisa Daktilitas Perpindahan ( <i>Displacement Ductility</i> ) Hasil Uji Eksperimen .....	78
4.4.3. Analisa Beban Lentur-Lendutan Hasil Uji Eksperimen.....	80
4.4.4. Analisa Beban Lentur-Regangan Tekan Beton Ultimit Hasil Uji Eksperimen .....	83
4.4.5. Analisa Momen Maksimum-Rasio Lubang Hasil Uji Eksperimen.....	85
4.4.6. Analisa Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur Hasil Uji Eksperimen .....	87
4.5. Perbandingan Momen-Daktilitas Kurvatur Hasil Uji Eksperimen Kolom Dengan Sengkang Tunggal dan Sengkang Rangkap .....	89



4.6. Perbandingan Momen-Daktilitas Kurvatur Hasil Analisa Teoritis dan Hasil Uji Eksperimen.....	91
4.7. Perbandingan Kekuatan Lentur Hasil Analisa Teoritis, ACI 318-95 dan Uji Eksperimen.....	100
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>101</b>
5.1. Kesimpulan .....	101
5.2. Saran .....	102
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>103</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>105</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengekangan dengan sengkang persegi dan sengkang spiral .....	7
Gambar 2.2	Hubungan antara kekuatan dan daktilitas perpindahan .....	9
Gambar 2.3	Kurva tegangan – regangan beton mutu tinggi menurut Azizinamini, dkk. ....	14
Gambar 2.4	Kurva Tegangan - Regangan Tulangan Baja.....	15
Gambar 3.1	Penampang kolom tanpa lubang untuk regangan beton pada daerah $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$ .....	39
Gambar 3.2	Penampang kolom tanpa lubang untuk regangan beton pada daerah $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$ .....	39
Gambar 3.3	Penampang kolom tanpa lubang untuk regangan beton pada daerah $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$ .....	40
Gambar 3.4	Posisi c jika $c \geq Y + \phi_{lub}$ dan regangan beton pada daerah $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$ .....	40
Gambar 3.5	Posisi c jika $c \geq Y + R$ dan regangan beton pada daerah $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$ .....	41
Gambar 3.6	Posisi c jika $c \geq Y$ dan regangan beton pada daerah $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$ .....	41
Gambar 3.7	Posisi c jika $c < Y$ dan regangan beton pada daerah $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$ .....	42
Gambar 3.8	Posisi c jika $c \geq Y + \phi_{lub}$ dan regangan beton pada daerah $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$ .....	42
Gambar 3.9	Posisi c jika $c \geq Y + R$ dan regangan beton pada daerah $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$ .....	43
Gambar 3.10	Posisi c jika $c \geq Y$ dan regangan beton pada daerah $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$ .....	43
Gambar 3.11	Posisi c jika $c < Y$ dan regangan beton pada daerah $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$ .....	44
Gambar 3.12	Posisi c jika $c \geq Y + \phi_{lub}$ dan regangan beton pada daerah $\epsilon_c \geq \epsilon_1$ .....	44
Gambar 3.13	Posisi c jika $c \geq Y + R$ dan regangan beton pada daerah $\epsilon_c \geq \epsilon_1$ .....	45
Gambar 3.14	Posisi c jika $c \geq Y$ dan regangan beton pada daerah $\epsilon_c \geq \epsilon_1$ .....	45

Gambar 3.15	Posisi $c$ jika $c < Y$ dan regangan beton pada daerah $\epsilon_c \geq \epsilon_1$ .....	46
Gambar 3.16	Sketsa perhitungan kurvatur kolom hasil uji eksperimen .....	49
Gambar 3.17	Tampak samping setup pembebanan benda uji kolom .....	52
Gambar 3.18	Tampak atas setup pembebanan benda uji kolom .....	53
Gambar 3.19	Skema pemasangan Yokes dan LVDT .....	54
Gambar 3.20	Detail pemasangan Yokes dan Dial gauge .....	55
Gambar 4.1	Sketsa penulangan benda uji KST.1.0 .....	60
Gambar 4.2	Sketsa penulangan benda uji KST.1.1, KST.1.2 dan KST.1.3 .....	61
Gambar 4.3	Sketsa penulangan benda uji KSR.2.0 .....	62
Gambar 4.4	Sketsa penulangan benda uji KSR.2.2 dan KSR.2.3 .....	63
Gambar 4.5	Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal .....	76
Gambar 4.6	Hubungan $M/M_{max}$ -Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal .....	76
Gambar 4.7	Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap .....	77
Gambar 4.8	Hubungan $M/M_{max}$ -Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap .....	78
Gambar 4.9	Hubungan Beban-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal .....	81
Gambar 4.10	Hubungan Beban-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap .....	83
Gambar 4.11	Hubungan Beban-Regangan tekan beton hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal .....	84
Gambar 4.12	Hubungan Beban-Regangan tekan beton hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap .....	85
Gambar 4.13	Hubungan $M_{max}$ -Rasio lubang hasil uji eksperimen pada kolom dengan sengkang tunggal .....	86
Gambar 4.14	Hubungan $M_{max}$ -rasio lubang hasil uji eksperimen pada kolom dengan sengkang rangkap .....	87

Gambar 4.30	Hubungan $M/M_{max}$ -Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.2 .....	98
Gambar 4.31	Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.3 .....	99
Gambar 4.32	Hubungan $M/M_{max}$ -Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.3 .....	99
Gambar III.1	Sketsa Panjang Sendi Plastis Teoritis Dan Posisi Penempatan Yokes .....	112
Gambar VI.1	Pola Retak Benda Uji KST. 1.0 .....	127
Gambar VI.2	Pola Retak Benda Uji KST. 1.1 .....	127
Gambar VI.3	Pola Retak Benda Uji KST. 1.2 .....	128
Gambar VI.4	Pola Retak Benda Uji KST. 1.3 .....	128
Gambar VI.5	Pola Retak Benda Uji KSR. 2.0 .....	129
Gambar VI.6	Pola Retak Benda Uji KSR. 2.2 .....	129
Gambar VI.7	Pola Retak Benda Uji KSR. 2.3 .....	130
Gambar VII.1	Analisa Kapasitas Momen Lentur Kolom Menurut ACI 318-95 .....	131
Gambar VII.2	Diagram interaksi kolom menurut ACI 318-95 dan hasil uji eksperimen pada kolom dengan sengkang tunggal .....	132
Gambar VII.3	Diagram interaksi kolom menurut ACI 318-95 dan hasil uji eksperimen pada kolom dengan sengkang rangkap .....	132
Gambar VIII.1	Perakitan benda uji kolom .....	133
Gambar VIII.2	Pengecoran benda uji kolom .....	133
Gambar VIII.3	Setup alat yang digunakan dalam pengujian .....	134
Gambar VIII.4	Penempatan alat Yokes pada benda uji kolom untuk pengukuran kurvatur .....	134
Gambar VIII.5	Benda uji kolom dengan sengkang tunggal setelah di uji pembebanan .....	135
Gambar VIII.6	Benda uji kolom dengan sengkang rangkap setelah di uji pembebanan .....	136

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Komposisi campuran beton mutu 60 MPa.....	56
Tabel 4.2	Perincian Rencana Benda Uji Kolom Segiempat Ukuran 200 x 200 mm .....	58
Tabel 4.3	Hubungan Momen Maksimum-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal.....	75
Tabel 4.4	Hubungan Momen Maksimum-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap.....	77
Tabel 4.5	Hasil analisa Daktilitas Kurvatur-Daktilitas Perpindahan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal.....	78
Tabel 4.6	Hasil analisa Daktilitas Kurvatur-Daktilitas Perpindahan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap.....	79
Tabel 4.7	Hubungan Beban lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal.....	80
Tabel 4.8	Hubungan Beban lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal pada beban $P = 20$ ton.....	81
Tabel 4.9	Hubungan Beban lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap.....	82
Tabel 4.10	Hubungan Beban lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap pada beban $P = 20$ ton.....	82
Tabel 4.11	Hubungan Beban lentur-Regangan tekan beton ultimit hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal.....	83
Tabel 4.12	Hubungan Beban lentur-Regangan tekan beton ultimit hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap.....	84
Tabel 4.13	Hubungan $M_{max}$ -Rasio Lubang hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal.....	85
Tabel 4.14	Hubungan $M_{max}$ -Rasio Lubang hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap.....	86

Tabel 4.15	Hubungan Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal.....	87
Tabel 4.16	Hubungan Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap.....	88
Tabel 4.17	Perbandingan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap.....	89
Tabel 4.18	Hasil pengolahan data analisa teoritis dan hasil uji eksperimen.....	92
Tabel 4.19	Perbandingan Momen Lentur Maksimum Analisa Teoritis, ACI 318-95 dan Hasil Uji Eksperimen.....	100
Tabel IV.1	Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji KST.1.0.....	113
Tabel IV.2	Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji KST.1.1.....	114
Tabel IV.3	Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji KST.1.2.....	115
Tabel IV.4	Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji KST.1.3.....	116
Tabel IV.5	Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji KSR.2.0.....	117
Tabel IV.6	Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji KSR.2.2.....	118
Tabel IV.7	Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji KSR.2.3.....	119
Tabel V.1	Hasil Pengolahan Data Uji Eksperimen Benda Uji KST.1.0.....	120
Tabel V.2	Hasil Pengolahan Data Uji Eksperimen Benda Uji KST.1.1.....	121
Tabel V.3	Hasil Pengolahan Data Uji Eksperimen Benda Uji KST.1.2.....	122
Tabel V.4	Hasil Pengolahan Data Uji Eksperimen Benda Uji KST.1.3.....	123
Tabel V.5	Hasil Pengolahan Data Uji Eksperimen Benda Uji KSR.2.0.....	124
Tabel V.6	Hasil Pengolahan Data Uji Eksperimen Benda Uji KSR.2.2.....	125
Tabel V.7	Hasil Pengolahan Data Uji Eksperimen Benda Uji KSR.2.3.....	126
Tabel VII	Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Menurut ACI 318-95.....	131

## DAFTAR NOTASI

- $A_g$  = Luas penampang total ( $\text{mm}^2$ )
- $A_{sh}$  = Kuat tekan beton maksimum dengan kekangan ( $\text{mm}^2$ )
- $A_{shx}$  dan  $A_{shy}$  = Luas penampang total tulangan sengkang pada arah sumbu x dan sumbu y ( $\text{mm}^2$ )
- $A_{si}$  = Luas tulangan baja yang ditinjau ( $\text{mm}^2$ )
- $b_w$  = Lebar penampang (mm)
- $c$  = Tinggi garis netral (mm)
- $c_x$  dan  $c_y$  = Lebar inti beton pada arah sumbu x dan sumbu y (mm)
- $C_c$  = Gaya tekan beton (Kg)
- $d$  = Tinggi efektif elemen (mm)
- $d_i$  = Jarak tiap tulangan baja yang ditinjau terhadap serat tekan beton (mm)
- $d_s$  = Selimut beton (mm)
- $d''$  = Diameter nominal dari sengkang, in
- $E_s$  = Modulus Elastisitas baja tulangan (MPa)
- $f_c'$  = Tegangan tekan beton karakteristik (MPa)
- $f_{co}$  = Kuat tekan beton maksimum tanpa kekangan (MPa)
- $f_{cc}$  = Kuat tekan beton maksimum dengan kekangan (MPa)
- $f_l$  = Tekanan pengegang lateral (MPa)
- $f_y$  = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)
- $f_{yh}$  = Tegangan leleh tulangan spiral atau sengkang (MPa)
- $f_y''$  = Tegangan leleh baja tulangan lateral, psi
- $f_{hcc}$  = Tegangan tulangan sengkang pada saat kuat beton maksimum (MPa)
- $f_{si}$  = Tegangan tulangan baja yang ditinjau (MPa)
- $h$  = Jarak antara LVDT serat tekan dan tarik (mm)
- $h_t$  = Tinggi penampang (mm)
- $h''$  = Panjang satu sisi dari sengkang segiempat, in.

- $l$  = Jarak antar besi Yokes (mm)  
 $L$  = Panjang bentang benda uji (mm)  
 $L_p$  = Panjang sendi plastis teoritis (mm)  
 $M$  = Momen Lentur (KN.m)  
 $M_s$  = Momen Sekunder akibat beban aksial tetap (KN.m)  
 $M_p$  = Momen Primer akibat beban lentur (KN.m)  
 $n$  = Jumlah tulangan longitudinal  
 $P_u$  =  $P$  = Gaya tekan aksial pada elemen (Kg)  
 $R$  = Jari-jari lubang (mm)  
 $S$  = Spasi sengkang lateral, in  
 $T_{si}$  = Kekuatan tulangan baja yang ditinjau (Kg)  
 $z$  =  $L$  = jarak antara bidang kritis dan titik contraflexure (mm)  
 $Z_c$  = Titik berat gaya tekan beton terhadap titik pusat penampang (mm)  
 $\mu_\phi$  = Daktilitas Kurvatur  
 $\phi_u$  = Kurvatur ultimit (1/mm)  
 $\phi_y$  = Kurvatur pada saat leleh pertama (1/mm)  
 $\mu_\Delta$  = Daktilitas perpindahan  
 $\Delta_u$  = Perpindahan ultimit (mm)  
 $\Delta_y$  = Perpindahan pada saat leleh pertama (mm)  
 $\Delta_c$  = Perpendekan pada serat tekan Yokes dari data LVDT  
 $\Delta_t$  = Perpanjangan pada serat tarik Yokes dari data LVDT  
 $\Delta$  = Lendutan pada tengah bentang (mm)  
 $\phi_t$  =  $d_b$  = Diameter tulangan longitudinal (mm)  
 $\phi_s$  =  $d_s$  = Diameter tulangan sengkang (mm)  
 $\phi_{lub}$  = Diameter lubang (mm)  
 $\rho''$  =  $\rho_s$  = Volumetric rasio dari tulangan lateral  
 $\rho$  =  $\rho_t$  = Volumetric rasio dari tulangan longitudinal  
 $\epsilon_o$  = Regangan beton pada saat tegangan puncak  
 $\epsilon_{sh}$  = Regangan strain hardening baja



- $\epsilon_{su}$  = Regangan ultimit baja
- $\epsilon_c$  = Regangan tekan beton
- $\epsilon_{cu}$  = Regangan tekan beton ultimit
- $\epsilon_{si}$  = Regangan tiap tulangan baja yang ditinjau
- $\epsilon_{lub}$  = Regangan lubang pada daerah tekan

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	: Hasil Uji Kuat Tarik Tulangan Baja .....	105
Lampiran II	: Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton.....	110
Lampiran III	: Perhitungan Panjang Sendi Plastis Teoritis .....	111
Lampiran IV	: Hasil Perhitungan Analisa Teoritis .....	113
Lampiran V	: Hasil Pengolahan Data Uji Eksperimen.....	120
Lampiran VI	: Gambar Pola Retak Kolom Hasil Uji Eksperimen .....	127
Lampiran VII	: Hasil Perhitungan Analisa Kapasitas Momen Lentur Kolom Menurut ACI 318-95.....	131
Lampiran VIII	: Foto-Foto.....	133

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar belakang

Penggunaan beton mutu tinggi dewasa ini semakin banyak digunakan sebagai bahan konstruksi karena dapat meningkatkan kekuatan dan menguntungkan dari segi estetika dan juga lebih ekonomis. Beton mutu tinggi mempunyai sifat yang getas bila dibandingkan dengan beton normal. Walaupun mampu menahan tekan yang cukup tinggi tetapi tidak mampu secara proposional meningkatkan kekuatan tariknya. Pemakaian sebagai bahan struktur dengan demikian tergantung pada pengendalian mengubah bahan yang getas menjadi bahan yang berperilaku daktail. Daktilitas adalah kemampuan elemen struktur atau struktur secara keseluruhan untuk mengalami deformasi plastis yang besar tanpa mengalami banyak penurunan kekuatan yang besar. Sampai saat ini, bentuk yang paling efektif untuk meningkatkan daktilitas dari beton adalah dengan memberikan pengekangan (*confinement*). Karakteristik kuat tekan dari beton mutu tinggi sangat menguntungkan untuk menahan beban aksial dan pratekan. Oleh karena itu beton mutu tinggi lebih ekonomis bila digunakan untuk kolom dan elemen struktur pratekan. Di dalam menahan beban, pada taraf beban tertentu kolom pada bagian dasar ada kemungkinan telah mencapai tingkat keluluhan sehingga pada ujung-ujung kolom dasar telah terbentuk sendi plastis, agar kolom pada bagian dasar dapat berdeformasi dengan tanpa mengalami keruntuhan maka diperlukan nilai daktilitas kurvatur yang cukup.

Sebagai elemen struktur kolom mempunyai peranan yang sangat penting jika dibandingkan dengan elemen struktur yang lain tetapi pada kenyataannya banyak bangunan gedung di Indonesia karena tuntutan estetika kadang-kadang kurang memperhatikan pengaruh adanya instalasi pipa untuk pembuangan air hujan, sanitasi, listrik, dll yang tertanam pada kolom, karena dengan adanya lubang dapat mengurangi luas penampang yang akibatnya dapat mengurangi kekuatannya.

Memang persyaratan untuk kolom yang berlubang telah ada, yaitu menurut ACI 318-95 pasal 6.3.4 saluran-saluran dan pipa, dengan segala kelengkapannya, yang tertanam

dalam suatu kolom tidak boleh mengambil lebih dari 4 persen dari luas penampang kolom yang digunakan dalam perhitungan kekuatan kolom atau dari luas penampang yang diperlukan untuk ketahanan terhadap kebakaran.

Telah banyak dilakukan penelitian mengenai kolom yang terkekang pada beton mutu tinggi, misalnya berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan Yong, dkk. (1988), Azizinamini, dkk. (1994) mengusulkan rumus kurva tegangan-regangan untuk kolom segiempat beton mutu tinggi dengan menggunakan parameter mutu beton, mutu baja, spasi sengkang dan daerah beton yang terkekang sebagai penentu pengekangan, dan dapat disimpulkan dengan adanya pengekangan yang cukup, daktilitas dari kolom beton dapat meningkat serta disimpulkan pula bahwa semakin tinggi beban aksial maka daktilitas kolom beton mutu tinggi semakin menurun.

Pada tahun 1996, Claeson, dkk telah melakukan penelitian pada kolom segiempat beton bertulang mutu normal dan mutu tinggi dengan menggunakan parameter tegangan tekan beton, spasi sengkang, tegangan tulangan baja, kelangsingan kolom dan eksentrisitas beban aksial sebagai penentu pengekangan, dan dapat disimpulkan bahwa efektifitas pengekangan pada kolom beton mutu tinggi tidak seefektif pada kolom beton mutu normal.

Sedangkan terhadap kolom segiempat yang berlubang pada beton mutu rendah telah ada penelitian yang dilakukan oleh Supriyadi (1997) yaitu meneliti mengenai pengaruh rasio lubang dengan dimensi kolom terhadap kuat batas kolom beton bertulang dan didapat hasil bahwa dengan rasio lubang sebesar 9,43% kolom belum menunjukkan keruntuhan tekuk (*buckling failure*) sampai beban batasnya dicapai, namun penelitian tersebut belum mempelajari mengenai kemampuan daktilitas kolom yang berlubang.

Penelitian ini dititik beratkan pada peninjauan perilaku daktil dan kekuatan penampang kolom segiempat berlubang yang menggunakan tulangan sengkang rangkap dan sengkang tunggal, apakah syarat pengekangan dan daktilitas menurut ketentuan ACI 318-95 masih memenuhi untuk kolom yang berlubang. Mutu beton yang digunakan sebagai verifikasi eksperimental untuk mewakili beton mutu tinggi  $f_c' > 50$  MPa adalah 60 MPa.

## **1.2. Permasalahan**

### **1.2.1. Perumusan masalah**

Penggunaan beton mutu tinggi sangat menguntungkan untuk menahan beban aksial dan pratekan. Oleh karena itu beton mutu tinggi lebih ekonomis bila digunakan untuk kolom dan elemen struktur pratekan.

Dengan melihat banyaknya kasus pemasangan instalasi pipa (air hujan, sanitasi, listrik, dll) yang tertanam pada kolom, sering dijadikan alasan tujuan estetika, tanpa memperhatikan pengaruh pengurangan kekuatan kolom. Meskipun dalam ACI 318-95 pasal 6.3.4 dinyatakan asal tidak lebih dari 4 persen dari penampang melintang yang dipergunakan dalam perhitungan kekuatan maka pengaruh lubang tidak perlu diperhitungkan.

Tetapi mengingat pentingnya elemen struktur kolom jika dibandingkan dengan elemen struktur yang lain, sehingga perlu penelitian untuk :

1. Mengetahui pengaruh lubang terhadap kekuatan lentur khususnya perilaku daktail kolom segiempat berlubang pada beton mutu tinggi 60 MPa dan apakah memenuhi persyaratan daktilitas menurut ketentuan ACI 318-95.
2. Sampai berapa besar penambahan daktilitas dan kekuatan lentur dengan adanya penggunaan tulangan sengkang rangkap pada kolom segiempat beton bertulang yang berlubang.
3. Mengetahui grafik hubungan momen- daktilitas kurvatur dan momen-lendutan kolom segiempat berlubang.
4. Mengetahui ketelitian hasil perhitungan analitis yang dilakukan terlebih dahulu dengan hasil pengujian eksperimental di laboratorium.

### **1.2.2. Pembatasan Masalah**

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembebanan yang dilakukan secara monotonik dan dalam jangka pendek.
2. Beban aksial dikerjakan pada ujung kolom dan momen lentur dihasilkan dari beban transversal.
3. Kolom yang diteliti termasuk kolom pendek sehingga aman terhadap tekuk.
4. Mutu beton yang digunakan sebagai verifikasi eksperimental adalah 60 MPa saja untuk mewakili beton mutu tinggi.

5. Pada penelitian ini pengukuran kurvatur kolom tidak menggunakan strain gauge baja tapi menggunakan alat Yokes.
6. Kekuatan pipa PVC dianggap tidak memberikan kontribusi terhadap kekuatan kolom.
7. Jumlah benda uji hanya 7 buah karena mengingat keterbatasan dana penelitian.
8. Uji eksperimental hanya meninjau momen lentur dan daktilitas kolom segiempat yang berlubang dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui besarnya pengurangan kekuatan lentur akibat adanya lubang.
2. Mengetahui persentase pertambahan kekuatan lentur dan peningkatan daktilitas dari kolom segiempat berlubang dengan tulangan sengkang rangkap.
3. Untuk mengetahui pengaruh lubang terhadap kekuatan lentur dan daktilitas kolom segiempat berlubang pada beton mutu tinggi 60 MPa dan apakah memenuhi persyaratan daktilitas menurut ketentuan ACI 318-95.
4. Membuktikan validitas antara hasil analisa teoritis dibandingkan dengan hasil pengujian benda uji secara eksperimen.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini akan memberikan masukan dalam perencanaan kolom beton bertulang mutu tinggi yang berlubang terutama mengenai kekuatan lentur dan daktilitasnya. Penelitian ini juga memberikan sumbangan informasi terhadap pemakaian beton mutu tinggi untuk kolom beton yang berlubang akibat adanya pipa yang tertanam dalam kolom, karena belum ada penelitian mengenai hal ini dan dapat digunakan sebagai masukan untuk peraturan baik secara nasional dan internasional.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sejarah Pengekangan Beton

Struktur beton bertulang yang daktail dapat diperoleh dengan melakukan pengekangan (*confinement*) pada elemen struktur. Pengekangan yang berupa tulangan transversal ini berfungsi menyekap beton sehingga sifat beton mutu tinggi yang getas dapat diantisipasi. Pengekangan dilakukan dengan pemberian sengkang atau spiral baja pada tulangan memanjang. Pengekangan pada beton akan bekerja jika tegangan pada beton mendekati kuat tekan maksimum, regangan transversal menjadi sangat besar karena disebabkan penambahan retak dalam (*internal cracking*) dan beton yang menyokong melawan tulangan transversal, yang kemudian memberikan reaksi pengekangan pada beton.

Sudah sejak lama Richart, dkk. (1928) membuktikan bahwa, kekuatan tekan beton akan meningkat dengan adanya tekanan lateral disekelilingnya, kekuatan tersebut akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pengaruh dari kekangan dan mengusulkan hubungan berikut untuk kuat tekan maksimum dari beton terkekang :

$$f_{cc} = f_{co} + 4,1.f_1 \quad (2.1)$$

Sementara itu, pada pengujian lain yang dilakukan oleh Balmer (1949) menunjukkan bahwa nilai koefisien tegangan lateral berkisar antara 4,50 dan 7,0 dengan nilai rata-ratanya sekitar 5,60, nilai ini lebih besar bila dibandingkan dengan hasil yang diperoleh Richart, dkk. (1928). Nilai Koefisien tegangan lateral yang tinggi tersebut terjadi pada tekanan lateral yang rendah, nilai tersebut akan berkurang seiring dengan meningkatnya tekanan lateral.

Pada awalnya, Richart, dkk. (1928), melakukan penelitian tersebut dengan menggunakan tekanan cairan sebagai tekanan lateral (Persamaan 2.1), namun pada kenyataannya pengekangan yang umum dilakukan pada beton adalah berasal dari

senggang atau spiral yang terpasang disekeliling penampangnya. Karena itulah, Iyengar, dkk. (1970), mengadakan penelitian pada tiga set silinder beton uji yang dikekang dengan spiral melingkar untuk mendekati tekanan lateral cairan tersebut. Dan terlihat adanya peningkatan pada kurva hubungan tegangan-regangan terutama pada bagian yang turun, hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan baik dari segi kekuatan maupun daktilitasnya.

Sebelumnya Bertero, dan Fellipa (1964), telah mengadakan penyelidikan pada sejumlah besar benda uji dengan penampang persegi yang dikekang dengan senggang yang bervariasi. Dari hasil penyelidikan tersebut dapat disimpulkan bahwa ada peningkatan pada bagian yang turun dari kurva hubungan tegangan-regangan beton, hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan daktilitas, namun dari segi kekuatan dapat dikatakan tidak ada peningkatan yang berarti.

Dari kedua peneltian Iyengar, dkk. (1970) dan Bertero-Fellipa (1964) dapat diketahui bahwa efektifitas kekangan pada spiral atau senggang melingkar jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan senggang persegi.

Besarnya tegangan lateral yang disumbangkan oleh tulangan spiral atau senggang melingkar adalah :

$$f_l = \frac{2f_{yh}A_{sh}}{d_s S} \quad (2.2)$$

Sedangkan untuk penampang persegi besarnya sumbangan tegangan lateral dari senggang persegi adalah :

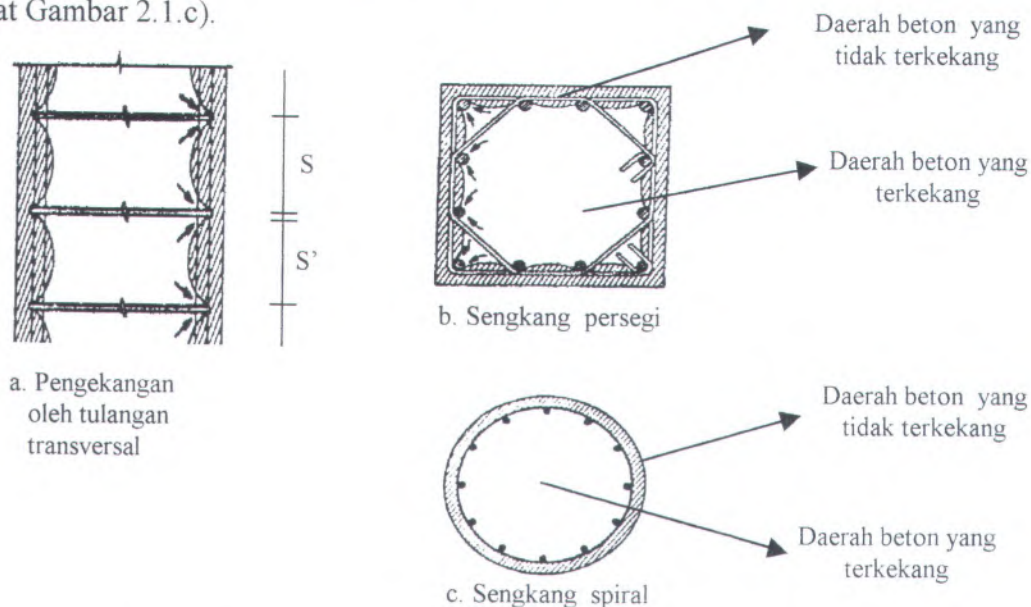
$$f_l = \frac{f_{hcc}}{S} \left( \frac{A_{shx} + A_{shy}}{c_x + c_y} \right) \quad (2.3)$$

Penulangan spiral melingkar merupakan bentuk pengekangan yang paling ideal dan efektif dalam memberikan sumbangan kekangan lateral, bila dibandingkan bentuk-bentuk pengekangan yang lain, karena bentuknya yang sedemikian rupa, maka spiral hanya menerima gaya aksial saja dan memberikan distribusi tegangan kekangan yang sama merata ke sekeliling inti penampang, dimana pada saat regangan transversal yang besar akan menyerupai kekangan pada cairan (lihat Gambar. 2.1).



Sedangkan sengkang berbentuk persegi pada penampang beton persegi memberikan pengaruh pengekanan yang kurang efektif, karena distribusi pengekanan tidak merata pada sekelilingnya, dimana pengekanan pada sisi sengkang cenderung lemah sehingga terjadi regangan transversal ke arah luar, sebaliknya sudut-sudut penampang inti beton lebih efektif terkekang. Sisi sengkang hanya terkekang dengan baik bila tulangan memanjang dipeluk oleh susut-sudut sengkang (lihat Gambar 2.1.b).

Selain itu spasi dari tulangan sengkang sangat mempengaruhi efektifitasnya dalam memberikan pengekanan, semakin renggang, maka daerah yang tidak terkekang akan semakin besar. Meskipun rasio isinya sama, bila jarak sengkang yang terpasang jauh maka efektifitasnya akan jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan yang mempunyai spasi sengkang lebih kecil (lihat Gambar 2.1.a). Selain itu tulangan kekangan spiral akan lebih baik karena penyebaran tegangan akan lebih terdistribusi merata ke seluruh ketinggian dari elemen. Penambahan jumlah tulangan memanjang di antara tulangan yang terpasang di sudut-sudutnya juga akan meningkatkan efektifitas dari pengekanan (lihat Gambar 2.1.b). Hal tersebut dikarenakan tulangan memanjang berfungsi sebagai penahan tekuk dari tulangan sengkang. Tulangan spiral akan memberikan efektifitas kekangan lateral yang lebih baik karena sifatnya yang menerus memberikan distribusi yang lebih merata ke sekeliling inti beton terkekang (lihat Gambar 2.1.c).



Gambar 2.1 Pengekangan dengan sengkang persegi dan sengkang spiral

## 2.2 Syarat Kolom dan Pengekangan Beton Menurut Ketentuan ACI 318- 95

1. Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan didalam sengkang ikat segiempat atau lingkaran, 3 untuk batang tulangan didalam sengkang ikat segitiga, dan 6 untuk batang tulangan yang dikelilingi oleh spiral (pasal 10.9.2).
2. Pada komponen struktur tekan persegi, radius girasi  $r$  boleh diambil sama dengan 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau, dan sama dengan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk bentuk penampang lainnya,  $r$  boleh dihitung dari penampang beton bruto (pasal 10.11.2).
3. Pengaruh kelangsingan :

- Untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan bila (pasal 10.12.2):

$$\frac{k \cdot lu}{r} < 34 - 12 \cdot \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \quad (2.4)$$

dimana  $M_1/M_2$  tidak boleh kurang dari  $-0.5$

- Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan bila (pasal 10.13.2) :

$$\frac{k \cdot lu}{r} < 22 \quad (2.5)$$

4. Panjang efektif dari komponen struktur tekan :

- Untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping, faktor panjang efektif  $k$  harus diambil sama dengan 1,0, kecuali bila analisis menunjukkan bahwa suatu nilai yang lebih kecil boleh digunakan (pasal 10.12.1).
- Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, faktor panjang efektif  $k$  harus ditentukan dengan mempertimbangkan pengaruh dari keretakan dan tulangan terhadap kekakuan relatif, dan harus lebih besar dari 1,0 (pasal 10.13.1).

5. Mempunyai gaya tekan aksial (pasal 21.4.1):

$$P > 0,10 \cdot A_g \cdot f_c' \quad (2.6)$$

6. Dimensi penampang terpendek, diukur pada satu garis lurus yang melalui titik berat penampang, tidak boleh kurang dari 300 mm (pasal 21.4.1.1).

7. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi yang tegak lurus padanya tidak boleh kurang dari 0,4 (pasal 21.4.1.2)..

8. Batasan rasio tulangan longitudinal minimum (pasal 21.4.3.1), yaitu :

$$\rho_{\min} = 1 \% \quad (2.7)$$

9. Batasan rasio tulangan longitudinal maksimum (pasal 21.4.3.1), yaitu :

$$\rho_{\max} = 8 \% \quad (2.8)$$

10. Syarat pengekanan beton pada kolom ditentukan oleh rasio volumetrik spiral atau tulangan sirkular ( $\rho_s$ ) yang besarnya tidak boleh kurang dari (pasal 21.4.4.1.(1)) :

$$\rho_s = 0,12 \frac{f_c'}{f_{yh}} \quad (2.9)$$

dan tidak boleh kurang dari (pasal 10.9.3) :

$$\rho_s = 0,45 \frac{\left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot f_c'}{f_y} \quad (2.10)$$

dimana  $f_y$  kuat leleh tulangan spiral yang tidak boleh lebih dari 420 MPa.

11. Total luas tulangan sengkang persegi tidak boleh kurang dari (pasal 21.4.4.1.(2)) :

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \left[ \frac{S \cdot h_c \cdot f_c'}{f_y} \right] \cdot \left[ \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \quad (2.11)$$

$$A_{sh} = 0,09 \cdot \frac{S \cdot h_c \cdot f_c'}{f_{yh}} \quad (2.12)$$

12. Untuk mencegah terjadinya tulangan longitudinal yang menekuk maka spasi tulangan transversal tidak kurang dari (pasal 21.4.4.2) :

- a.  $\frac{1}{4}$  dimensi bagian yang terkecil
- b. 100 mm

### 2.3 Daktilitas Kurvatur (*Curvature Ductility*)

Daktilitas adalah kemampuan elemen struktur atau struktur secara keseluruhan untuk mengalami deformasi plastis yang besar tanpa mengalami banyak penurunan kekuatan yang besar.

Dalam perhitungan, daktilitas kurvatur dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (2.13)$$

Kurvatur leleh pertama ( $\phi_y$ ) didefinisikan sebagai kurvatur yang terjadi pada saat tulangan memanjang telah mencapai regangan lelehnya, hal ini berlaku untuk tulangan tarik maupun tulangan tekan, tergantung yang mana yang lebih menentukan, definisi ganda ini diperlukan mengingat untuk kolom dengan beban aksial yang besar akan menyebabkan tulangan tekan leleh terlebih dahulu, dan berlaku pula sebaliknya.

Sedangkan kurvatur ultimit ( $\phi_u$ ) pada penampang kolom dicapai bila salah satu kondisi dibawah ini terpenuhi :

1. Menurut Pendyala, dkk. (1996) kurvatur ultimit diperoleh pada saat momen sebesar  $0,80.M_{max}$  setelah melewati nilai momen maksimum.
2. Regangan tarik baja terbesar telah mencapai regangan tarik ultimit dari baja ( $\epsilon_{su}$ )
3. Regangan tekan baja pada tulangan memanjang telah mencapai  $\epsilon_{suc}$ , dimana  $\epsilon_{suc}$  adalah tegangan dimana terjadi tekuk pada tulangan memanjang.

### 2.4 Daktilitas Perpindahan (*Displacement Ductility*)

Daktilitas perpindahan adalah merupakan perbandingan antara perpindahan pada saat ultimit ( $\Delta_u$ ) dengan perpindahan pada saat leleh pertama ( $\Delta_y$ ) atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

Menurut R. Park dan T. Paulay (1974) daktilitas perpindahan dapat ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

$$\Delta_y = \frac{\phi_y \cdot L}{2} \cdot \frac{2 \cdot L}{3}$$

$$\Delta_u = \left( \frac{\varphi_y \cdot L}{2} \cdot \frac{2 \cdot L}{3} \right) + (\varphi_u - \varphi_y) \cdot L_p \cdot (L - 0,5 \cdot L_p)$$

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = 1 + \left( \frac{\varphi_u - \varphi_y}{\varphi_y} \right) \cdot \left( \frac{L_p \cdot (L - 0,5 \cdot L_p)}{L^2/3} \right) \quad (2.14)$$

Dalam peraturan gempa Indonesia dianut suatu ketentuan perencanaan struktur tahan gempa, yaitu :

1. Bangunan harus dapat menahan beban gempa ringan tanpa mengalami kerusakan struktur tetapi non struktur boleh mengalami kerusakan ringan.
2. Bangunan harus dapat menahan beban gempa sedang tanpa mengalami kerusakan struktur tapi non struktur mengalami kerusakan yang masih dapat diperbaiki lagi.
3. Bangunan harus dapat menahan beban gempa kuat tanpa mengalami keruntuhan tetapi bagian struktur dan non struktur bangunan mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki lagi.

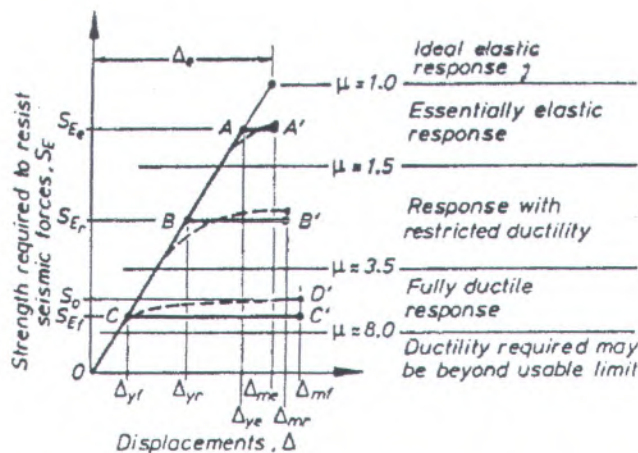
Untuk mengendalikan kerusakan struktur akibat beban gempa dilakukan dengan pengendalian daktilitas perpindahan ( $\mu_\Delta$ ) dan menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.1 daktilitas perpindahan diatur dalam 3 tingkatan daktilitas, yaitu :

1. Tingkat daktilitas 1, yaitu struktur beton diproporsikan sedemikian sehingga ketentuan tambahan atas penyelesaian detail struktur sangat sedikit. Struktur sepenuhnya berperilaku elastis,  $\mu_\Delta = 1,0$ . Beban gempa rencana harus dihitung berdasarkan faktor  $K = 4$ .
2. Tingkat daktilitas 2, yaitu struktur beton diproporsikan sedemikian sehingga ketentuan tambahan atas penyelesaian detail khusus yang memungkinkan struktur memberikan respon inelastik terhadap beban siklis yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan getas,  $\mu_\Delta = 2,0$ . Kondisi ini dinamakan juga kondisi daktilitas terbatas. Dalam hal ini beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan nilai faktor  $K$  minimum = 2.
3. Tingkat daktilitas 3, yaitu struktur beton diproporsikan berdasarkan suatu ketentuan penyelesaian detail khusus yang memungkinkan struktur memberikan respon inelastik terhadap beban siklis yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme sendi plastis dengan kapasitas disipasi energi yang diperlukan tanpa mengalami

keruntuhan,  $\mu_{\Delta} = 4,0$ . Kondisi ini dinamakan juga kondisi daktilitas penuh. Dalam hal ini beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan nilai faktor  $K$  minimum = 1.

Gambar 2.2 memperlihatkan batasan nilai daktilitas perpindahan dalam mengendalikan kerusakan struktur (Priestley, 1991), yaitu :

1. Ideal elastic response ( $\mu_{\Delta} = 1,0$ ), struktur sepenuhnya berperilaku elastis.
2. Essentially elastic response ( $1,0 < \mu_{\Delta} \leq 1,5$ ), struktur pada dasarnya masih berperilaku elastis dan berlaku untuk gedung-gedung penting yang tidak boleh rusak oleh gempa.
3. Response with restricted ductility ( $1,5 < \mu_{\Delta} \leq 3,5$ ), disebut juga daktilitas terbatas, berlaku untuk struktur biasa yang memiliki kekuatan tinggi namun kurang daktil dan struktur yang konfigurasi kurang teratur sehingga sulit dikembangkan daktilitas yang tinggi dan pada daerah ini syarat detailing akan lebih ringan.
4. Fully ductile response ( $3,5 < \mu_{\Delta} \leq 8,0$ ), disebut juga daktilitas penuh, berlaku untuk struktur yang dapat memanfaatkan secara maksimum sifat daktilitasnya dan dicapai dengan detailing pada tempat-tempat inelastis.



Gambar 2.2 Hubungan antara kekuatan dan daktilitas perpindahan

## 2.5 Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Beton Yang Terkekang

Kurva hubungan tegangan-regangan beton serta perumusan empirisnya telah lama dikembangkan dan diusulkan oleh para peneliti di dalam usahanya menggambarkan hubungan tegangan-regangan beton untuk mendekati kondisi yang sebenarnya. Hal tersebut dilakukan oleh mereka melalui pengujian eksperimental dalam skala jumlah yang sangat besar.

Berbagai usulan kurva hubungan tegangan-regangan yang telah lama dikembangkan oleh para peneliti, antara lain : Chan (1955), Blume, dkk. (1961), Baker, dkk. (1964), Roy dan Sozen (1964), Soliman dan Yu (1967), Sargin, dkk. (1971), yang kemudian diperbaiki dan dikembangkan terus, serta dipublikasikan oleh para peneliti dalam usaha mereka untuk mendekati kurva hubungan tegangan-regangan dan perilaku yang sebenarnya dari beton polos dan terkekang, bahkan untuk beton mutu tinggi dan sangat tinggi seperti yang dilakukan oleh Yong, dkk. (1988), Sheikh, dkk. (1994), Azizinamini, dkk. (1994), Cusson, dkk. (1995), dan Mansur, dkk. (1997).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan Yong dkk (1988), Azizinamini, dkk. (1994) mengusulkan rumus kurva tegangan-regangan beton untuk kolom segiempat beton mutu tinggi dengan menggunakan parameter mutu beton, mutu baja, spasi sengkang dan daerah beton yang terkekang sebagai penentu pengekanan.

Dari kurva pada Gambar 2.3 didapat karakteristik sebagai berikut :

$$f_o = K \cdot f'_c \quad (2.15)$$

$$K = 1 + 0,0091 \cdot \left[ 1 - \frac{0,245 \cdot S}{h''} \left( \rho'' + \frac{n \cdot d''}{8 \cdot S \cdot d} \rho \right) \frac{f_y''}{\sqrt{f'_c}} \right] \quad (2.16)$$

$$\varepsilon_o = 0,00265 + \frac{0,0035 \cdot \left( 1 - \frac{0,734 \cdot S}{h''} \right) (\rho'' \cdot f_y'')^{2/3}}{\sqrt{f'_c}} \quad (2.17)$$

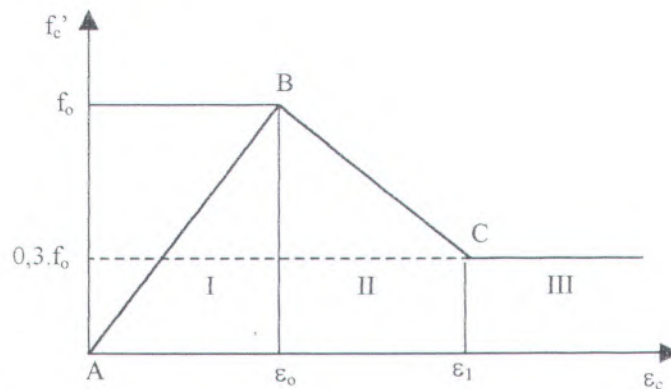
$$\varepsilon_1 = \frac{0,7}{\alpha} + \varepsilon_o \quad (2.18)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,003 + \left( \frac{\rho_s \cdot f_y}{100} \right)^2 \quad (2.19)$$

$$\text{Kurva yang naik (AB)} : f = \left( \frac{f_o}{\epsilon_o} \right) \cdot \epsilon_c \quad \text{untuk } 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o \quad (2.20)$$

$$\text{Kurva yang turun (BC)} : f = f_o \cdot [1 - \alpha_o \cdot (\epsilon_c - \epsilon_o)] \geq 0,3 \cdot f_o \quad (2.21)$$

$$\text{dimana : } \alpha_o = \frac{0,25 \cdot \left( \frac{f'_c - 0,6}{f_o} \right)}{3,13 \cdot K \cdot \left[ 1,4 \cdot \left( \frac{\epsilon_o}{K} \right) + 0,0003 \right]} \quad (2.22)$$



Gambar 2.3 Kurva Tegangan – Regangan beton mutu tinggi menurut Azizinamini, dkk.

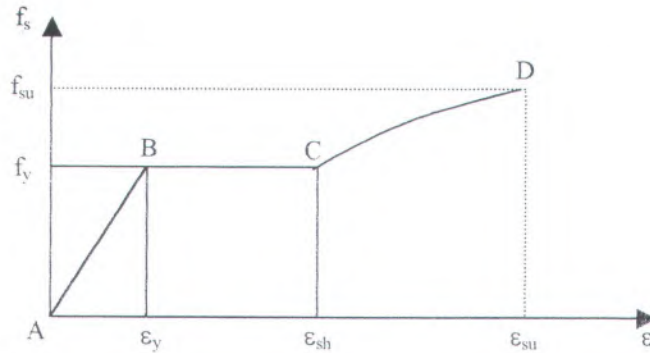
Dalam analisa teoritis kurva tegangan-regangan beton dibagi menjadi 3 daerah, yaitu :

1. Daerah I : Pada  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$
2. Daerah II : Pada  $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$
3. Daerah III : Pada  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$



## 2.6. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Tulangan Baja

Gambar 2.4 memperlihatkan kurva hubungan tegangan-regangan tulangan baja yang memperhitungkan pengaruh strain hardening baja (R.Park, T.Paulay, 1974), kurva tegangan-regangan tulangan baja tersebut akan digunakan dalam penelitian ini dengan perumusan sebagai berikut:



Gambar 2.4 Kurva Tegangan - Regangan Tulangan Baja

Daerah AB :  $\epsilon_s \leq \epsilon_y$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \quad (2.23)$$

Daerah BC :  $\epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}$

$$f_s = f_y \quad (2.24)$$

Daerah CD :  $\epsilon_{sh} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{su}$

$$f_s = f_y \cdot \left[ \frac{m \cdot (\epsilon_s - \epsilon_{sh}) + 2}{60 \cdot (\epsilon_s - \epsilon_{sh}) + 2} + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{sh}) \cdot (60 - m)}{2 \cdot (30 \cdot r + 1)^2} \right] \quad (2.25)$$

$$\text{dimana : } m = \frac{\left( \frac{f_{su}}{f_y} \right) (30 \cdot r + 1)^2 - 60 \cdot r - 1}{15 \cdot r^2} \quad (2.26)$$

$$r = \epsilon_{su} - \epsilon_{sh} \quad (2.27)$$

## **BAB III**

### **METODA PENELITIAN**

#### **3.1. Studi Pustaka**

Studi pustaka dilakukan dengan mendalami materi yang relevan dengan penelitian ini. Kepustakaan ini meliputi berbagai buku teks, jurnal ilmiah, dan peraturan Standar Nasional maupun Internasional.

Untuk menunjang penelitian ini berlangsung dengan baik, terarah dan mempunyai dasar teori yang baik, serta efisien dan efektif di dalam pelaksanaannya, maka peneliti merasa perlu untuk mengumpulkan informasi sebanyak mungkin yang berkaitan baik secara langsung ataupun tidak langsung dengan penelitian ini, terutama mengenai beton mutu tinggi, dan perkembangan hubungan kurva tegangan-regangan beton mutu tinggi yang terkekang.

Studi pustaka ini tidak hanya berhenti sampai pada tahap awal saja tetapi terus berlangsung selama proses penelitian, sebagai tambahan dengan adanya perkembangan penelitian terakhir yang dilakukan oleh para peneliti lain di dalam maupun di luar negeri.

#### **3.2. Dasar Teori**

Setelah melakukan studi pustaka, mempelajarinya, dan melakukan analisa serta membandingkan berbagai teori yang ada, maka peneliti dapat menentukan dasar-dasar teori yang digunakan, dengan demikian diharapkan hasil akhir penelitian akan optimal.

Penentuan dasar teori tersebut meliputi penentuan kurva hubungan tegangan-regangan beton mutu tinggi yang terkekang, kurva hubungan tegangan-regangan baja, penentuan volumetric rasio tulangan lateral dan rasio tulangan longitudinal menurut peraturan ACI 318-95 dan penurunan persamaan matematik untuk menganalisa kapasitas penampang kolom yang berlubang beserta nilai kurvturnya.

### 3.2.1. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton Mutu Tinggi Yang Terkekang

Berdasarkan sejarah pengekangan beton telah diketahui bahwa berbagai macam kurva hubungan tegangan-regangan beton yang telah diusulkan oleh para peneliti dari berbagai negara. Masing-masing peneliti berusaha untuk menggambarkan kurva hubungan tegangan-regangan beton untuk mendekati perilaku yang sebenarnya. Hal tersebut dilakukan dengan cara analitis dan eksperimental. Dimana kurva hubungan tegangan-regangan tersebut didekati dengan persamaan regresi. Penelitian tersebut tidak hanya dilakukan oleh para ahli dan peneliti pada beton mutu normal (*Normal Strength Concrete*), tapi berlanjut pada beton mutu tinggi (*High Strength Concrete*), bahkan pada beton mutu sangat tinggi (*Ultra High Strength Concrete*), selain itu peninjauan terhadap efektifitas pengekangan juga berkembang seiring dengan perkembangan beton tersebut.

Dari berbagai usulan tersebut semuanya mendekati perilaku dari benda-benda uji yang dipakai, akan tetapi antara usulan peneliti satu terhadap lainnya berbeda namun pada dasarnya tidak terjadi penyimpangan yang terlalu jauh. Untuk penelitian selanjutnya, para peneliti menggunakan kurva dan persamaan usulan yang bervariasi.

Dalam penelitian ini akan digunakan kurva tegangan-regangan beton mutu tinggi ( $f_c' > 50$  MPa) menurut usulan Aziznamini, dkk (1994) (lihat Gambar 2.2), karena usulan kurva tersebut didapat dari hasil penelitian kolom beton mutu tinggi yang terkekang dan pengujiannya berdasarkan beban aksial yang tetap serta dibebani beban arah transversal sampai kolom mencapai kekuatan ultimitnya sehingga cocok untuk digunakan pada penelitian ini.

Mengingat rumus Aziznamini, dkk (1994) diatas diturunkan dari percobaan pada penampang kolom beton yang utuh maka untuk menggunakannya pada penampang kolom yang berlubang dipakai asumsi sebagai berikut :

1. Persamaan kurva tegangan-regangan tetap menurut persamaan (2.14) dan (2.21)
2. Volumetric rasio dari tulangan lateral ( $\rho''$ ) dihitung dengan tidak memperhitungkan lubang.
3. Volumetric rasio dari tulangan longitudinal ( $\rho$ ) tetap merupakan perbandingan luas tulangan longitudinal dengan luas penampang kolom.

### 3.2.2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Tulangan Baja

Kurva hubungan tegangan-regangan baja yang digunakan untuk analisa perhitungan teoritis berdasarkan perumusan dari R. Park dan T. Paulay, (1974) dan dapat dilihat pada Gambar 2.3 serta dinyatakan dalam persamaan (2.20) sampai dengan (2.24).

### 3.2.3. Hubungan Momen-Kurvatur Dan Daktilitas Kurvatur

Parameter yang umum digunakan untuk menyatakan daktilitas dan sangat mewakili dari suatu elemen struktur, baik untuk balok maupun kolom adalah daktilitas kurvatur ( $\mu_\phi$ ). Menurut Park dan Paulay (1974), hubungan antara momen dan kurvatur untuk balok beton bertulang dengan penampang persegi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$EI = \frac{M}{\phi} \quad (3.1)$$

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{c} \quad (3.2)$$

Sedangkan untuk daktilitas kurvatur menurut persamaan (2.13)

### 3.2.4. Panjang Sendi Plastis Teoritis

Perumusan untuk menentukan panjang sendi plastis telah banyak diusulkan oleh para peneliti untuk mendekati kondisi yang sebenarnya antara lain :

1. Corley (1966) :  $L_p = 0,5 \cdot d + 0,2 \cdot \sqrt{d} \cdot (z/d)$  (3.4)

2. Mattock (1967) :  $L_p = 0,5 \cdot d + 0,05 \cdot z$  (3.5)

3. Sawyer (1964) :  $L_p = 0,25 \cdot d + 0,075 \cdot z$  (3.6)

4. Zahn (1986) : untuk  $\frac{P_u}{f'_c \cdot A_g} < 0,3$

$$L_p = (0,08 \cdot L + 6 \cdot d_b) \cdot \left( 0,5 + 1,67 \cdot \frac{P_u}{f'_c \cdot A_g} \right) \quad (3.7)$$

untuk  $\frac{P_u}{f'_c \cdot A_g} \geq 0,3$

$$L_p = 0,08 \cdot L + 6 \cdot d_b \quad (3.8)$$

Harga  $L_p$  menurut rumus-rumus diatas adalah nilai  $L_p$  pada satu sisi, sehingga jika digunakan untuk kasus 2 tumpuan sederhana maka nilai panjang total sendi plastis adalah  $2.L_p$ .

Untuk penelitian ini diambil nilai  $L_p$  yang terbesar dan nilai panjang sendi plastis ini sebagai panduan dalam penempatan alat yokes, penempatan yokes harus sedikit diluar daerah sendi plastis. Pengambilan harga panjang sendi plastis sangat berpengaruh terhadap nilai kurvatur yang diperoleh, misalnya jika kita mengambil harga panjang sendi plastis yang besar maka nilai kurvatur yang diperoleh akan kecil begitu juga sebaliknya. Perhitungan panjang sendi plastis dapat dilihat pada Lampiran III.

### 3.3. Parameter Penelitian

Parameter dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Kurva hubungan tegangan dan regangan untuk beton terkekang mutu tinggi yang digunakan adalah dari Azizinamini, dkk., (1994).
- b. Jarak sengkang sebagai penentu pengekangan
- c. Variasi rasio lubang terhadap luas kolom
- d. Mutu beton dan penulangan

### 3.4. Analisa Teoritis Kolom

Perhitungan pada saat awal adalah untuk merencanakan benda uji secara detail sesuai dengan asumsi yang ideal dan peraturan yang ada, serta prediksi terhadap hasil yang akan diperoleh di dalam pengujian yang nantinya akan diadakan di laboratorium. Untuk pembuktian hipotesa peneliti seperti persamaan yang telah diuraikan pada Sub Bab 3.2 Dasar Teori, maka perlu dilakukan pengujian fisik secara langsung terhadap benda uji dengan data-data sebagai berikut :

1. Benda uji yang direncanakan adalah kolom beton bertulang dengan dimensi :  $200 \times 200$  mm, dan panjang kolom pendek yang ditinjau 1120 mm (syarat kolom pendek  $k.l_u/r < 22$ ).
2. Mutu beton yang direncanakan adalah 60 MPa untuk mewakili beton mutu tinggi.
3. Tulangan longitudinal menggunakan baja ulir (*deform*) dengan mutu rencana  $f_y = 400$  MPa dengan diameter 13 mm.

4. Tulangan sengkang atau pengekang menggunakan baja polos dengan mutu rencana  $f_{yh} = 240$  MPa dengan diameter 8 mm.
5. Untuk membuat lubang pada kolom digunakan pipa plastik PVC dengan diameter 48 mm, 60 mm dan 75 mm dengan masing-masing rasio lubang terhadap penampang sebesar 4,52 %, 7,07 %, dan 11,04 %.

Lubang pipa dengan diameter 48 mm (rasio 4,52%) digunakan untuk mewakili dan mengetahui nilai daktilitas menurut persyaratan ACI 318-95 yang hanya mengizinkan rasio lubang tidak melebihi 4 %, sedangkan diameter pipa 60 mm dan 75 mm untuk mengetahui sampai sejauh mana pengurangan kekuatan lentur dan daktilitas kolom yang berlubang.

Setelah penentuan semua parameter yang akan digunakan dalam penelitian ini, maka dapat dilakukan prediksi awal dengan cara melakukan perhitungan analitis, perhitungan analitis awal tersebut bersifat sementara, karena nantinya dalam pelaksanaan pengujian berbagai faktor akan mempengaruhi kondisi asumsi pada saat awal. Hal tersebut antara lain dipengaruhi oleh dimensi dan mutu baja tulangan yang tidak seragam, mutu beton hasil mix design yang kemungkinan tidak sama dengan asumsi awal, presisi pembuatan benda uji yang meliputi pembuatan bekisting, pemasangan tulangan, pemasangan besi yokes, dan juga pada saat pelaksanaan pengecoran.

Oleh sebab itu perlu adanya koreksi untuk menyesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya. Sehingga nantinya akan diperoleh hasil yang sebenarnya seperti yang dilakukan pada uji eksperimen di laboratorium.

Perhitungan analisa teoritis awal dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter yang relevan untuk memprediksikan perilaku kolom segiempat beton bertulang mutu tinggi yang berlubang dan tidak berlubang dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap dengan menggunakan kurva tegangan-regangan beton mutu tinggi menurut Azizinamini, dkk., (1994).

Analisa teoritis penampang kolom yang berlubang dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

- Perhitungan gaya tekan beton pada penampang yang tanpa lubang
- Perhitungan gaya tekan beton pada penampang yang berlubang
- Gaya tekan beton gabungan adalah gaya tekan beton pada penampang tanpa lubang dikurangi gaya tekan beton yang berlubang.

Prosedur untuk perhitungan analisa teoritis kolom yang berlubang adalah sebagai berikut :

**a. Parameter penampang kolom**

1. Besaran daerah penampang terkekang :

Lihat Gambar 3.1 :

$$b' = b_w - 2d_s$$

$$h' = h_t - 2d_s$$

$$h'' = h' - \phi_s$$

$$b'' = b' - \phi_s$$

2. Perhitungan panjang sengkang :

Sengkang tunggal :

$$l_1 = 2 \cdot [b'' + h'']$$

Sengkang rangkap :

$$l_2 = 4 \cdot \left[ \frac{1}{3} (b' - 2\phi_s - \phi_t) + \left( \frac{1}{3} (b' - 2\phi_s - \phi_t) + \frac{1}{2} (\phi_t + \phi_s) \right) \sqrt{2} \right]$$

3. Volumetric rasio tulangan lateral :

Sengkang tunggal :

$$\rho_s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_s^2 \cdot l_1}{b' \cdot h' \cdot S}$$

Sengkang rangkap :

$$\rho_s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_s^2 \cdot (l_1 + l_2)}{b' \cdot h' \cdot S}$$

**b. Syarat terjadinya spalling**

$$\epsilon_{sp} = \epsilon_c \cdot \left[ \frac{c - \left( 2 \cdot d_s + \frac{1}{2} \cdot \phi_s \right)}{c} \right] \tag{3.9}$$

Spalling 1 : Spalling terjadi pada serat tekan beton bagian atas

$$\text{Jika } \varepsilon_c \geq 0,004 \text{ maka } dsp1 = ds + \frac{1}{2} \cdot \phi s$$

$$\text{Jika } \varepsilon_c < 0,004 \text{ maka } dsp1 = 0$$

Spalling 2 : Spalling terjadi pada serat tekan beton bagian samping

$$\text{Jika } \varepsilon_{sp} \geq 0,004 \text{ maka } dsp2 = ds$$

$$\text{Jika } \varepsilon_{sp} < 0,004 \text{ maka } dsp2 = 0$$

**c. Analisa kurva tegangan-regangan beton mutu tinggi yang terkekang menurut Azizinamini, dkk (1994)**

Gambar 2.2 memperlihatkan bentuk kurva tegangan-regangan beton yang digunakan dalam analisa teoritis dan perumusannya berdasarkan persamaan (2.15) s/d (2.22).

**d. Perhitungan gaya tekan beton penampang tanpa lubang**

Perhitungan gaya tekan beton penampang tanpa lubang dibagi menjadi 3 daerah, yaitu :

**1. Daerah I :  $0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_0$**

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.1 :

$$dsp1 = ds + \frac{1}{2} \cdot \phi s$$

$$dsp2 = ds$$

$$s1 = c - dsp1$$

$$s2 = c - (dsp1 + dsp2)$$

$$fsp1 = f \cdot \left[ \frac{s1}{c} \right]$$

$$fsp2 = f \cdot \left[ \frac{s2}{c} \right]$$



Luas kurva tegangan daerah I tanpa spalling :

$$At1 = \frac{1}{2} \cdot f \cdot c$$

Titik berat kurva tegangan daerah I tanpa spalling terhadap garis netral :

$$Zt1 = \frac{2}{3} \cdot c$$

$$Asp1 = f \cdot dsp1 - \frac{1}{2} \cdot (f - f_{sp1}) \cdot dsp1$$

$$zs1 = s1 + \frac{2 \cdot dsp1 \cdot \left[ f + \frac{1}{2} \cdot f_{sp1} \right]}{3 \cdot [f + f_{sp1}]}$$

$$Asp2 = f_{sp1} \cdot dsp2 - \frac{1}{2} \cdot (f_{sp1} - f_{sp2}) \cdot dsp2$$

$$zs2 = s2 + \frac{2 \cdot dsp2 \cdot \left[ f_{sp1} + \frac{1}{2} \cdot f_{sp2} \right]}{3 \cdot [f_{sp1} + f_{sp2}]}$$

Luas efektif kurva tegangan daerah I :

$$F1 = At1 - Asp1 - Asp2$$

Titik tangkap gaya tekan beton tanpa lubang terhadap garis netral :

$$Zf1 = \frac{At1 \cdot Zt1 - Asp1 \cdot zs1 - Asp2 \cdot zs2}{F1} \quad (3.10)$$

Gaya tekan beton penampang tanpa lubang pada daerah tekan :

$$Ccl = (At1 - Asp1) \cdot ht - Asp2 \cdot 2 \cdot \left( ds + \frac{1}{2} \cdot \phi_s \right) \quad (3.11)$$

## 2. Daerah II : $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.2 :

$$d_1 = bw - ds - \phi_s - \frac{1}{2} \phi_t$$

$$\text{Jika } c > d_1 \text{ maka : } Y1 = \epsilon_o \cdot \frac{c - d_1}{\epsilon_{s1}}$$

Jika  $c < d_1$  maka :  $Y1 = \varepsilon_o \cdot \frac{d_1 - c}{\varepsilon_{s1}}$

$$f2 = (f_o - f) \cdot \left[ \frac{Y}{c - Y1} \right]$$

$$f3 = f2 \cdot \left[ \frac{dsp1 + dsp2}{Y} \right]$$

$$f4 = f2 \cdot \left[ \frac{dsp1}{Y} \right]$$

$$fsp1 = f + f4$$

$$fsp2 = f + f3$$

$$A1 = \frac{1}{2} \cdot f_o \cdot Y1$$

$$A2 = f \cdot (c - Y1)$$

$$A3 = \frac{1}{2} \cdot (f_o - f) \cdot (c - Y1)$$

$$z1 = \frac{2}{3} \cdot c$$

$$z2 = \frac{1}{2} \cdot (c + Y1)$$

$$z3 = Y1 + \frac{1}{3} \cdot (c - Y1)$$

Luas kurva tegangan daerah II tanpa spalling :

$$At2 = A1 + A2 + A3$$

Titik berat kurva tegangan daerah II tanpa spalling terhadap garis netral :

$$Zt2 = \frac{A1 \cdot z1 + A2 \cdot z2 + A3 \cdot z3}{At2}$$

$$Asp1 = fsp1 \cdot dsp1 - \frac{1}{2} \cdot (fsp1 - f) \cdot dsp1$$

$$zsl = s1 + dsp1 - \frac{2 \cdot dsp1 \cdot \left[ fsp1 + \frac{1}{2} \cdot f \right]}{3 \cdot [f + fsp1]}$$

$$Asp2 = fsp2 \cdot dsp2 - \frac{1}{2} \cdot (fsp2 - fsp1) \cdot dsp2$$

$$zs2 = s2 + dsp2 - \frac{2 \cdot dsp2 \cdot \left[ fsp2 + \frac{1}{2} \cdot fsp1 \right]}{3 \cdot [fsp1 + fsp2]}$$

Luas efektif kurva tegangan daerah II :

$$F2 = At2 - Asp1 - Asp2$$

Titik tangkap gaya tekan beton tanpa lubang terhadap garis netral :

$$Zf2 = \frac{At2 \cdot Zt2 - Asp1 \cdot zs1 - Asp2 \cdot zs2}{F2} \quad (3.12)$$

Gaya tekan beton penampang tanpa lubang pada daerah tekan :

$$Cc2 = (At2 - Asp1) \cdot ht - Asp2 \cdot 2 \cdot \left( ds + \frac{1}{2} \cdot \phi_s \right) \quad (3.13)$$

### 3. Daerah III : $\epsilon_c > \epsilon_1$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.3 :

$$Y2 = Y1 \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_o}$$

$$A1 = \frac{1}{2} \cdot f_o \cdot Y1$$

$$A2 = 0,3 \cdot f_o \cdot (c - Y1)$$

$$A3 = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot f_o \cdot (Y2 - Y1)$$

$$z1 = \frac{2}{3} \cdot Y1$$

$$z2 = \frac{1}{2} \cdot (c + Y1)$$

$$z3 = Y1 + \frac{1}{3} \cdot (Y2 - Y1)$$

Luas kurva tegangan daerah III tanpa spalling :

$$At3 = A1 + A2 + A3$$

Titik berat kurva tegangan daerah III tanpa spalling terhadap garis netral :

$$Z_{t3} = \frac{A1 \cdot z1 + A2 \cdot z2 + A3 \cdot z3}{At3}$$

$$Asp1 = 0,3 \cdot f_o \cdot dsp1$$

$$zs1 = s1 + \frac{1}{2} \cdot dsp1$$

$$Asp2 = 0,3 \cdot f_o \cdot dsp2$$

$$zs2 = s2 + \frac{1}{2} \cdot dsp2$$

Luas efektif kurva tegangan daerah III :

$$F3 = At3 - Asp1 - Asp2$$

Titik tangkap gaya tekan beton tanpa lubang terhadap garis netral :

$$Z_{f3} = \frac{At3 \cdot Z_{t3} - Asp1 \cdot zs1 - Asp2 \cdot zs2}{F3} \quad (3.14)$$

Gaya tekan beton penampang tanpa lubang pada daerah tekan :

$$Cc3 = (At3 - Asp1) \cdot ht - Asp2 \cdot 2 \cdot \left( ds + \frac{1}{2} \cdot \phi_s \right) \quad (3.15)$$

#### e. Perhitungan gaya tekan beton pada penampang yang berlubang

Perhitungan gaya tekan beton penampang yang berlubang dibagi menjadi 12 daerah, yaitu :

##### 1. Daerah I - 1 : $c \geq Y + \phi_{lub}$ dan $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.4 :

$$a1 = c - (Y + \phi_{lub})$$

$$a2 = c - Y$$

$$f1 = f \cdot \left[ \frac{a1}{c} \right]$$

$$f2 = f \cdot \left[ \frac{a2}{c} \right]$$

$$A_{I1} = f1 \cdot \phi_{lub}$$

$$A_{I2} = \frac{1}{2} \cdot (f_2 - f_1) \cdot \phi_{\text{lub}}$$

$$I_1 = a_1 + R$$

$$I_2 = a_1 + \frac{2}{3} \cdot \phi_{\text{lub}}$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah I :

$$A_{tI1} = A_{I1} + A_{I2}$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Z_{tI1} = \frac{A_{I1} \cdot I_1 + A_{I2} \cdot I_2}{A_{tI1}}$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{II1} = \left[ \frac{1}{2} \cdot (f_1 + f_2) \cdot \phi_{\text{lub}} \right] \cdot \phi_{\text{lub}} \quad (3.16)$$

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{cI1} = C_{c1} - C_{II1} \quad (3.17)$$

$$Z_{T11} = \frac{F_1 \cdot Z_{f1} - A_{tI1} \cdot Z_{tI1}}{F_1 - A_{tI1}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{cI1} = Z_{T11} - \left( c - \frac{1}{2} \cdot b_w \right) \quad (3.18)$$

## 2. Daerah I - 2 : $c \geq Y + R$ dan $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.5 :

$$a_1 = c - Y$$

$$f_1 = f \cdot \left[ \frac{a_1}{c} \right]$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah I :

$$A_{tI2} = \frac{1}{2} \cdot f_1 \cdot a_1$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Z_{tI2} = \frac{2}{3} \cdot a_1$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{II2} = \left[ \frac{1}{2} \cdot f_1 \cdot a_1 \right] \cdot \phi_{lub} \quad (3.19)$$

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c12} = C_{c1} - C_{II2} \quad (3.20)$$

$$Z_{T12} = \frac{F_1 \cdot Z_{f1} - A_{lt12} \cdot Z_{lt12}}{F_1 - A_{lt12}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c12} = Z_{T12} - \left( c - \frac{1}{2} \cdot b_w \right) \quad (3.21)$$

### 3. Daerah I - 3 : $c \geq Y$ dan $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.6 :

$$a_1 = c - Y$$

$$f_1 = f \cdot \left[ \frac{a_1}{c} \right]$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah I :

$$A_{lt13} = \frac{1}{2} \cdot f_1 \cdot a_1$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Z_{lt13} = \frac{2}{3} \cdot a_1$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{II3} = \left[ \frac{1}{2} \cdot f_1 \cdot a_1 \right] \cdot \phi_{lub} \quad (3.22)$$

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c13} = C_{c1} - C_{II3} \quad (3.23)$$

$$Z_{T13} = \frac{F_1 \cdot Z_{f1} - A_{lt13} \cdot Z_{lt13}}{F_1 - A_{lt13}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c13} = Z_{T13} + \left( \frac{1}{2} \cdot b_w - c \right) \quad (3.24)$$

#### 4. Daerah I - 4 : $c < Y$ dan $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.7

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$Cc14 = Cc1 \quad (3.25)$$

$$ZT14 = Zf1$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Zc14 = ZT14 + \left(\frac{1}{2} \cdot bw - c\right) \quad (3.26)$$

#### 5. Daerah II - 1 : $c \geq Y + \phi_{lub}$ dan $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.8 :

$$a1 = c - (Y + \phi_{lub})$$

$$f1 = f_o \cdot \left[\frac{a1}{c}\right]$$

$$f2 = (f_o - f) \cdot \left[\frac{Y}{c - Y1}\right]$$

$$A11 = f_o \cdot \phi_{lub}$$

$$A12 = \frac{1}{2} \cdot (f_o - f1) \cdot (Y1 - a1)$$

$$A13 = \frac{1}{2} \cdot (f_o - f - f2) \cdot [\phi_{lub} - (Y1 - a1)]$$

$$I1 = a1 + R$$

$$I2 = a1 + \frac{1}{3} \cdot (Y1 - a1)$$

$$I3 = Y1 + \frac{2}{3} \cdot [\phi_{lub} - (Y1 - a1)]$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah II :

$$Alt21 = A11 - A12 - A13$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Zlt21 = \frac{A11 \cdot I1 - A12 \cdot I2 - A13 \cdot I3}{Alt21}$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{l21} = A_{lt21} \cdot \phi_{lub} \quad (3.27)$$

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c21} = C_{c2} - C_{l21} \quad (3.28)$$

$$Z_{T21} = \frac{F_2 \cdot Z_{f2} - A_{lt21} \cdot Z_{lt21}}{F_2 - A_{lt21}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c21} = Z_{T21} - (a_1 + R) \quad (3.29)$$

### 6. Daerah II - 2 : $c \geq Y + R$ dan $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.9 :

$$f_2 = (f_0 - f) \cdot \left[ \frac{Y}{c - Y_1} \right]$$

$$A_{l1} = \frac{1}{2} \cdot f_0 \cdot Y_1$$

$$A_{l2} = f_0 \cdot (c - Y - Y_1)$$

$$A_{l3} = \frac{1}{2} \cdot (f_0 - f - f_2) \cdot [c - Y - Y_1]$$

$$l_1 = \frac{2}{3} \cdot Y_1$$

$$l_2 = Y_1 + \frac{1}{2} \cdot (c - Y - Y_1)$$

$$l_3 = Y_1 + \frac{2}{3} \cdot (c - Y - Y_1)$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah II :

$$A_{lt22} = A_{l1} + A_{l2} - A_{l3}$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Z_{lt22} = \frac{A_{l1} \cdot l_1 + A_{l2} \cdot l_2 - A_{l3} \cdot l_3}{A_{lt22}}$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{l22} = A_{lt22} \cdot \phi_{lub} \quad (3.30)$$



Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c22} = C_{c2} - C_{l22} \quad (3.31)$$

$$Z_{T22} = \frac{F_2 \cdot Z_{f2} - A_{lt22} \cdot Z_{lt22}}{F_2 - A_{lt22}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c22} = Z_{T22} - [c - (Y + R)] \quad (3.32)$$

### 7. Daerah II - 3 : $c \geq Y$ dan $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.10 :

$$a_1 = c - Y$$

$$f_1 = f_o \cdot \left[ \frac{a_1}{Y_1} \right]$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah II :

$$A_{lt23} = \frac{1}{2} \cdot f_1 \cdot a_1$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Z_{lt23} = \frac{2}{3} \cdot a_1$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{l23} = A_{lt23} \cdot \phi_{lub} \quad (3.33)$$

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c23} = C_{c2} - C_{l23} \quad (3.34)$$

$$Z_{T23} = \frac{F_2 \cdot Z_{f2} - A_{lt23} \cdot Z_{lt23}}{F_2 - A_{lt23}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c23} = Z_{T23} + \left[ \frac{1}{2} \cdot bw - c \right] \quad (3.35)$$

**8. Daerah II - 4 :  $c < Y$  dan  $\varepsilon_0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_1$**

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.11 :

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c24} = C_{c2} \quad (3.36)$$

$$Z_{T24} = Z_{f2}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c24} = Z_{T24} + \left(\frac{1}{2} \cdot bw - c\right) \quad (3.37)$$

**9. Daerah III - 1 :  $c \geq Y + \phi_{lub}$  dan  $\varepsilon_c \geq \varepsilon_1$**

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.12 :

$$a_1 = c - (Y + \phi_{lub})$$

$$h_1 = a_1 + \phi_{lub} - Y_1$$

$$h_2 = Y_2 - \phi_{lub} - a_1$$

$$f_1 = f_o \cdot \left[ \frac{a_1}{c} \right]$$

$$f_2 = 0,7 \cdot f_o \cdot \left[ \frac{h_2}{h_1 + h_2} \right]$$

$$A_{I1} = f_o \cdot \phi_{lub}$$

$$A_{I2} = \frac{1}{2} \cdot (f_o - f_1) \cdot (Y_1 - a_1)$$

$$A_{I3} = \frac{1}{2} \cdot (0,7 \cdot f_o - f_2) \cdot h_1$$

$$I_1 = a_1 + R$$

$$I_2 = a_1 + \frac{1}{3} \cdot (Y_1 - a_1)$$

$$I_3 = Y_1 + \frac{2}{3} \cdot h_1$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah III :

$$A_{I31} = A_{I1} - A_{I2} - A_{I3}$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Z_{lt31} = \frac{A_{l1} \cdot l_1 - A_{l2} \cdot l_2 - A_{l3} \cdot l_3}{A_{lt31}}$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{l31} = A_{lt31} \cdot \phi_{lub} \quad (3.38)$$

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c31} = C_{c3} - C_{l31} \quad (3.39)$$

$$Z_{T31} = \frac{F_3 \cdot Z_{f3} - A_{lt31} \cdot Z_{lt31}}{F_3 - A_{lt31}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c31} = Z_{T31} - (a_1 + R) \quad (3.40)$$

#### 10. Daerah III - 2 : $c \geq Y + R$ dan $\epsilon_c \geq \epsilon_1$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.13 :

$$h_1 = c - Y - Y_1$$

$$h_2 = Y_2 - c - Y$$

$$f_2 = 0,7 \cdot f_o \cdot \left[ \frac{h_2}{h_1 + h_2} \right]$$

$$A_{l1} = f_o \cdot (c - Y)$$

$$A_{l2} = \frac{1}{2} \cdot f_o \cdot Y_1$$

$$A_{l3} = \frac{1}{2} \cdot (0,7 \cdot f_o - f_2) \cdot h_1$$

$$l_1 = \frac{1}{2} \cdot (c - Y)$$

$$l_2 = \frac{1}{3} \cdot Y_1$$

$$l_3 = Y_1 + \frac{2}{3} \cdot h_1$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah III :

$$A_{lt32} = A_{l1} - A_{l2} - A_{l3}$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Z_{lt32} = \frac{A_{l1} \cdot l_1 - A_{l2} \cdot l_2 - A_{l3} \cdot l_3}{A_{lt32}}$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{l32} = A_{lt32} \cdot \phi_{lub} \quad (3.41)$$

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c32} = C_{c3} - C_{l32} \quad (3.42)$$

$$Z_{T32} = \frac{F_3 \cdot Z_{f3} - A_{lt32} \cdot Z_{lt32}}{F_3 - A_{lt32}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c32} = Z_{T32} - [c - (Y + R)] \quad (3.43)$$

### 11. Daerah III - 3 : $c \geq Y$ dan $\epsilon_c \geq \epsilon_1$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.14 :

$$a_1 = c - Y$$

$$f_1 = f_o \cdot \left[ \frac{a_1}{Y_1} \right]$$

Luas total lubang pada kurva tegangan daerah III :

$$A_{lt33} = \frac{1}{2} \cdot f_1 \cdot a_1$$

Titik berat lubang terhadap garis netral :

$$Z_{lt33} = \frac{2}{3} \cdot a_1$$

Gaya tekan beton pada lubang :

$$C_{l33} = A_{lt33} \cdot \phi_{lub} \quad (3.44)$$

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c33} = C_{c3} - C_{l33} \quad (3.45)$$

$$Z_{T33} = \frac{F_3 \cdot Z_{f3} - A_{lt33} \cdot Z_{lt33}}{F_3 - A_{lt33}}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c33} = Z_{T33} + \left[ \frac{1}{2} \cdot bw - c \right] \quad (3.46)$$

### 12. Daerah III - 4 : $c < Y$ dan $\epsilon_c \geq \epsilon_1$

Lihat Gambar 2.3 dan Gambar 3.15 :

Total gaya tekan beton penampang berlubang :

$$C_{c34} = C_{c3} \quad (3.47)$$

$$Z_{T34} = Z_{f3}$$

Titik berat total gaya tekan beton penampang berlubang terhadap titik pusat penampang :

$$Z_{c34} = Z_{T34} + \left( \frac{1}{2} \cdot bw - c \right) \quad (3.48)$$

### f. Syarat pemilihan rumus $C_c$ dan $Z_c$

Persamaan  $C_c$  dan  $Z_c$  ditentukan oleh syarat sebagai berikut :

1. Jika  $c > Y + \phi_{lub}$  dan  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0$  : Rumus Daerah I - 1
2. Jika  $c > Y + R$  dan  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0$  : Rumus Daerah I - 2
3. Jika  $c > Y$  dan  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0$  : Rumus Daerah I - 3
4. Jika  $c < Y$  dan  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0$  : Rumus Daerah I - 4
5. Jika  $c > Y + \phi_{lub}$  dan  $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$  : Rumus Daerah II - 1
6. Jika  $c > Y + R$  dan  $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$  : Rumus Daerah II - 2
7. Jika  $c > Y$  dan  $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$  : Rumus Daerah II - 3
8. Jika  $c < Y$  dan  $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$  : Rumus Daerah II - 4
9. Jika  $c > Y + \phi_{lub}$  dan  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$  : Rumus Daerah III - 1
10. Jika  $c > Y + R$  dan  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$  : Rumus Daerah III - 2
11. Jika  $c > Y$  dan  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$  : Rumus Daerah III - 3
12. Jika  $c < Y$  dan  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$  : Rumus Daerah III - 4

### g. Persamaan Regangan Tulangan Baja

Jarak tulangan baja terhadap serat tekan beton :

$$d_1 = bw - \left[ ds + \phi s + \frac{1}{2} \cdot \phi t \right]$$

$$d_2 = d_1 - \frac{1}{3} \cdot \left[ d_1 - \left( ds + \phi s + \frac{1}{2} \cdot \phi t \right) \right]$$

$$d_3 = d_2 - \frac{1}{3} \cdot \left[ d_1 - \left( ds + \phi s + \frac{1}{2} \cdot \phi t \right) \right]$$

$$d_4 = ds + \phi s + \frac{1}{2} \cdot \phi t$$

Dari harga garis netral ( $c$ ) yang ditentukan terlebih dahulu dapat dihitung regangan tiap tulangan baja dengan persamaan :

$$\text{Jika } c > d_i \text{ maka : } \varepsilon_{si} = \varepsilon_c \cdot \left( \frac{c - d_i}{c} \right) \quad (3.49)$$

$$\text{Jika } c < d_i \text{ maka : } \varepsilon_{si} = \varepsilon_c \cdot \left( \frac{d_i - c}{c} \right) \quad (3.50)$$

dimana :  $\varepsilon_{si}$  adalah regangan tiap tulangan baja yang ditinjau dan  $d_i$  adalah jarak tiap tulangan baja yang ditinjau.

Dari hasil regangan baja yang diperoleh dapat diketahui tulangan baja yang pertama kali leleh dan dari hasil analisis tulangan baja yang pertama kali leleh adalah tulangan baja terluar pada daerah tekan (tulangan nomer 4).

### h. Persamaan Regangan tepi lubang pada daerah tekan

Regangan lubang pada daerah tekan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Jika } c > Y \text{ maka : } \varepsilon_{lub} = \varepsilon_c \cdot \left( \frac{c - Y}{c} \right) \quad (3.51)$$

$$\text{Jika } c < Y \text{ maka : } \varepsilon_{lub} = \varepsilon_c \cdot \left( \frac{Y - c}{c} \right) \quad (3.52)$$

### i. Persamaan Tegangan Tulangan Baja

Berdasarkan harga regangan baja didapat harga tegangan baja dengan menggunakan persamaan (2.23) s/d (2.27).

### j. Persamaan Kekuatan Tulangan Baja

Persamaan kekuatan tulangan baja ditentukan dengan rumus :

$$T_{si} = A_{si} \cdot f_{si} \quad (3.53)$$

dimana :  $i$  adalah indeks nomer tulangan baja,  $A_{si}$  adalah luas tulangan baja yang ditinjau dan  $f_{si}$  adalah tegangan baja yang ditinjau.

### k. Persamaan Kesetimbangan Gaya Aksial

- Gaya aksial tetap yang bekerja pada kolom :

$$P = 0,21 \cdot f_c' \cdot A_g \text{ atau } P = 50 \text{ ton} \quad (3.54)$$

- Syarat kesetimbangan gaya aksial :

Persamaan kesetimbangan gaya aksial ditentukan berdasarkan persyaratan berikut :

$$\text{Jika } c > d_1 \text{ maka : } P = Cc + T_{S1} + T_{S2} + T_{S3} + T_{S4} \quad (3.55)$$

$$\text{Jika } c < d_1 \text{ maka : } P = Cc - T_{S1} + T_{S2} + T_{S3} + T_{S4} \quad (3.56)$$

$$\text{Jika } c < d_2 \text{ maka : } P = Cc - T_{S1} - T_{S2} + T_{S3} + T_{S4} \quad (3.57)$$

$$\text{Jika } c < d_3 \text{ maka : } P = Cc - T_{S1} - T_{S2} - T_{S3} + T_{S4} \quad (3.58)$$

$$\text{Jika } c < d_4 \text{ maka : } P = Cc - T_{S1} - T_{S2} - T_{S3} - T_{S4} \quad (3.59)$$

Jika syarat kesetimbangan belum terpenuhi maka dicoba lagi harga garis netral (c) yang baru sampai syarat kesetimbangan gaya aksial terpenuhi.

### **l. Persamaan Momen Lentur Kolom**

Persamaan momen terhadap titik pusat penampang dapat ditentukan berdasarkan syarat berikut :

Jika  $c > d_1$  maka :

$$M = Cc \cdot Zc - T_{S1} \cdot \left( d_1 - \frac{bw}{2} \right) - T_{S2} \cdot \left( d_2 - \frac{bw}{2} \right) + T_{S3} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_3 \right) + T_{S4} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_4 \right) \quad (3.60)$$

Jika  $c < d_1$  maka :

$$M = Cc \cdot Zc + T_{S1} \cdot \left( d_1 - \frac{bw}{2} \right) - T_{S2} \cdot \left( d_2 - \frac{bw}{2} \right) + T_{S3} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_3 \right) + T_{S4} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_4 \right) \quad (3.61)$$

Jika  $c < d_2$  maka :

$$M = Cc \cdot Zc + T_{S1} \cdot \left( d_1 - \frac{bw}{2} \right) + T_{S2} \cdot \left( d_2 - \frac{bw}{2} \right) + T_{S3} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_3 \right) + T_{S4} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_4 \right) \quad (3.62)$$

Jika  $c < d_3$  maka :

$$M = Cc \cdot Zc + T_{S1} \cdot \left( d_1 - \frac{bw}{2} \right) + T_{S2} \cdot \left( d_2 - \frac{bw}{2} \right) - T_{S3} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_3 \right) + T_{S4} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_4 \right) \quad (3.63)$$

Jika  $c < d_4$  maka :

$$M = Cc \cdot Zc + T_{S1} \cdot \left( d_1 - \frac{bw}{2} \right) + T_{S2} \cdot \left( d_2 - \frac{bw}{2} \right) - T_{S3} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_3 \right) - T_{S4} \cdot \left( \frac{bw}{2} - d_4 \right) \quad (3.64)$$

### **m. Perhitungan Kurvatur Kolom**

Nilai kurvatur kolom dihitung menurut persamaan (3.2)

### **n. Perhitungan Kurvatur Leleh Pertama ( $\varphi_y$ )**

$\varphi_y$  diambil dari nilai kurvatur saat tulangan baja yang pertama kali leleh dari persamaan 3.49 atau 3.50.

### **o. Perhitungan Kurvatur Ultimit ( $\varphi_u$ )**

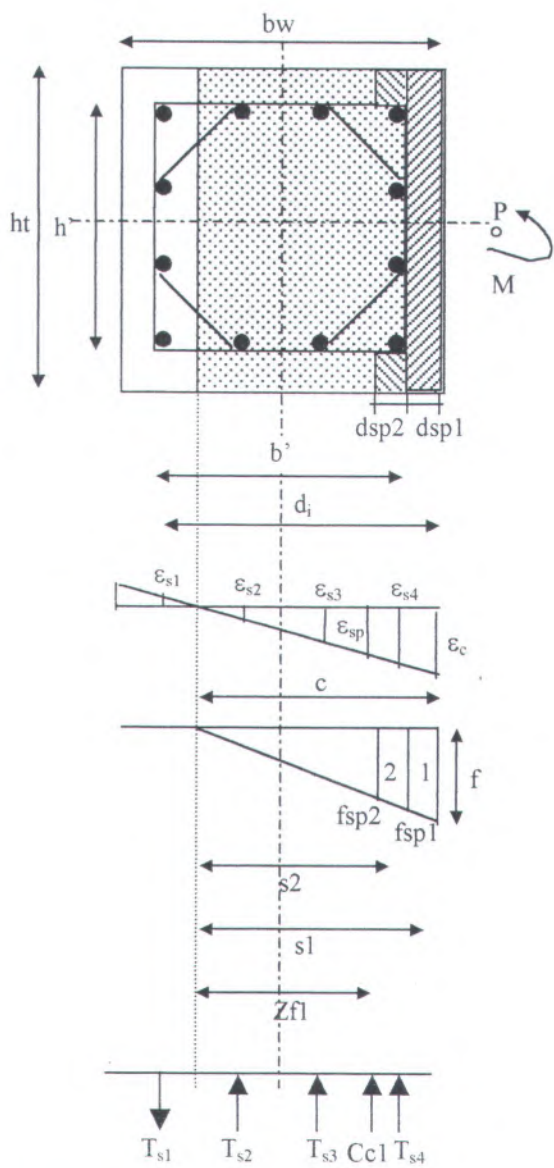
$\varphi_u$  ditentukan berdasarkan nilai kurvatur pada saat momen sebesar  $0,80 \cdot M_{max}$  setelah melewati nilai momen maksimum.

### **p. Perhitungan Daktilitas Kurvatur Kolom**

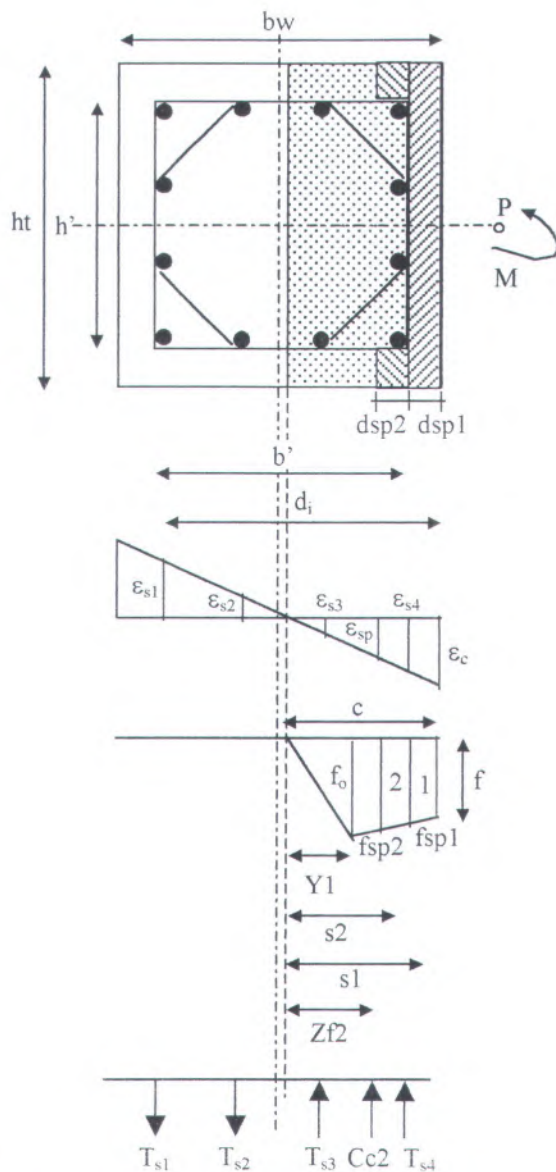
Nilai daktilitas kurvatur dihitung menurut persamaan (2.13)

### **q. Pembuatan Grafik Momen-Daktilitas Kurvatur**

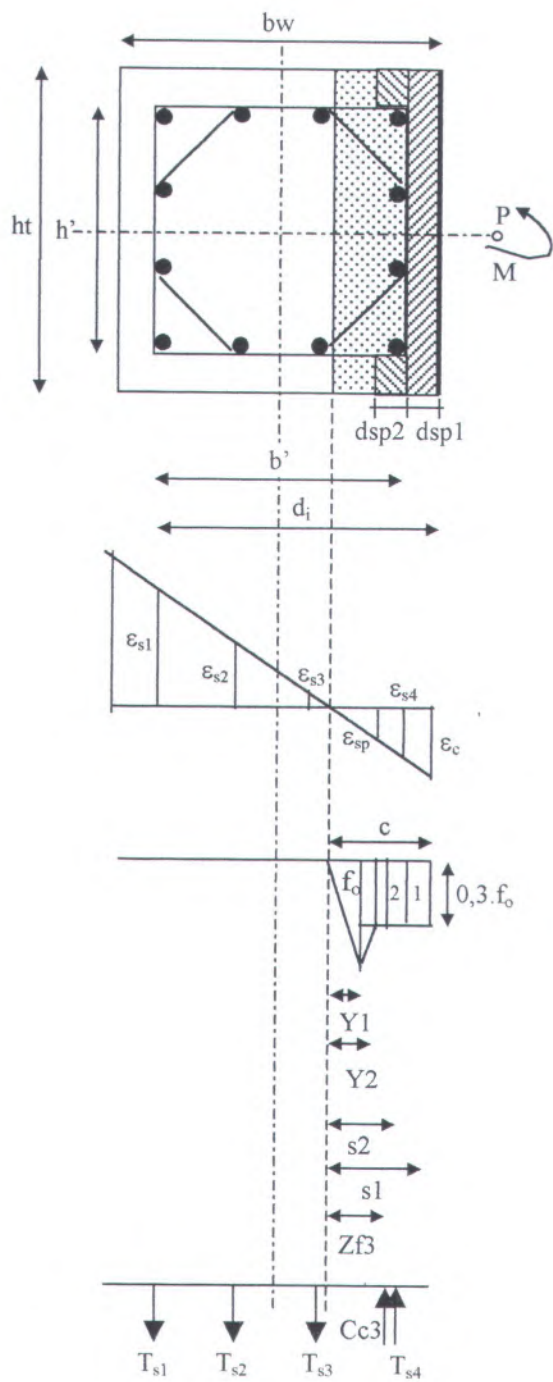




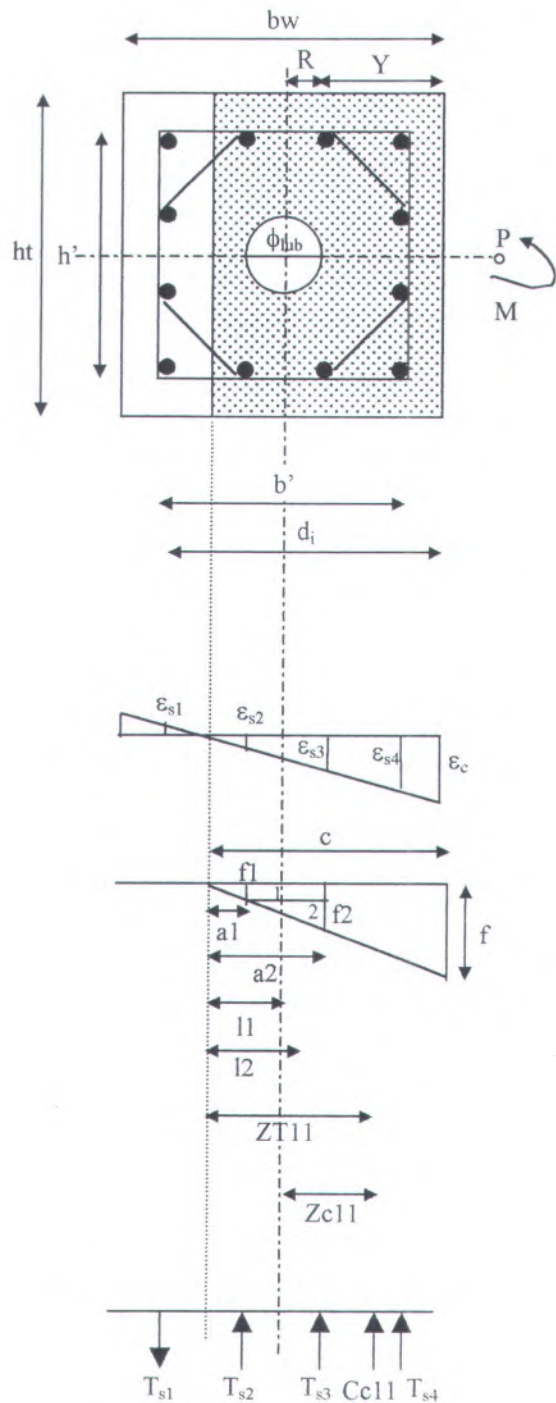
Gambar 3.1 Penampang kolom tanpa lubang untuk regangan beton pada daerah  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$



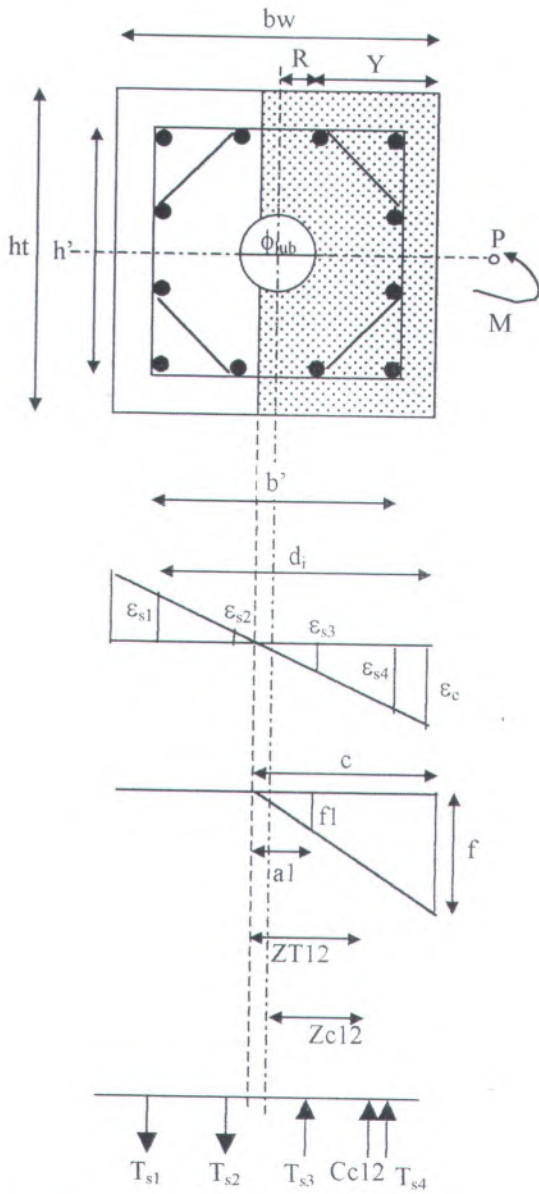
Gambar 3.2 Penampang kolom tanpa lubang untuk regangan beton pada daerah  $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$



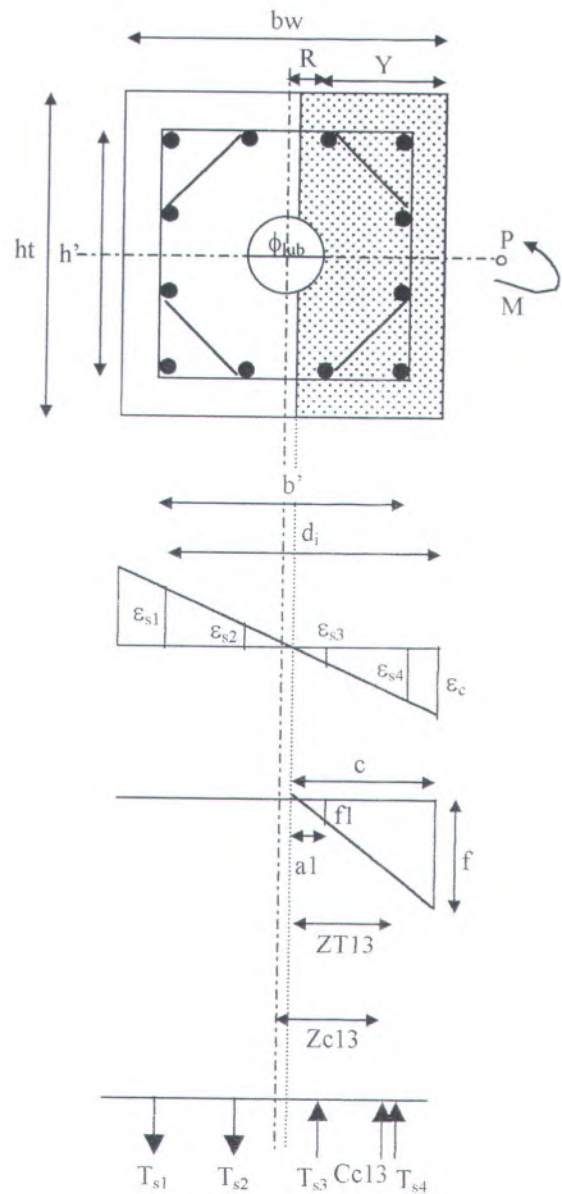
Gambar 3.3 Penampang kolom tanpa lubang untuk regangan beton pada daerah  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$



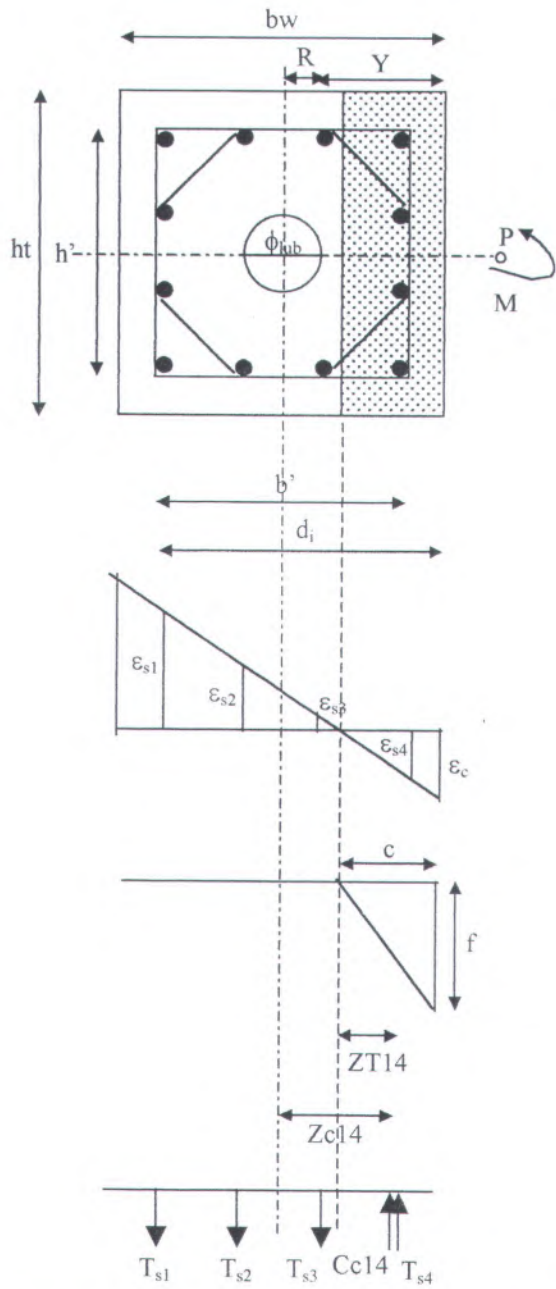
Gambar 3.4 Posisi c jika  $c \geq Y + \phi_{lub}$  dan regangan beton pada daerah  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0$



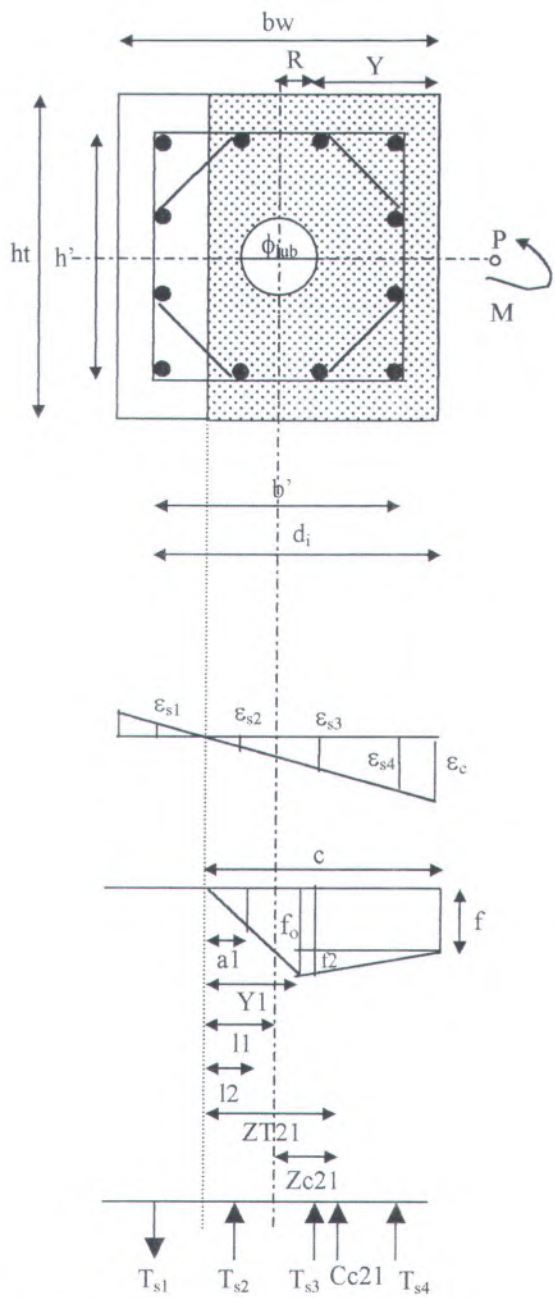
Gambar 3.5 Posisi  $c$  jika  $c \geq Y + R$  dan regangan beton pada daerah  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$



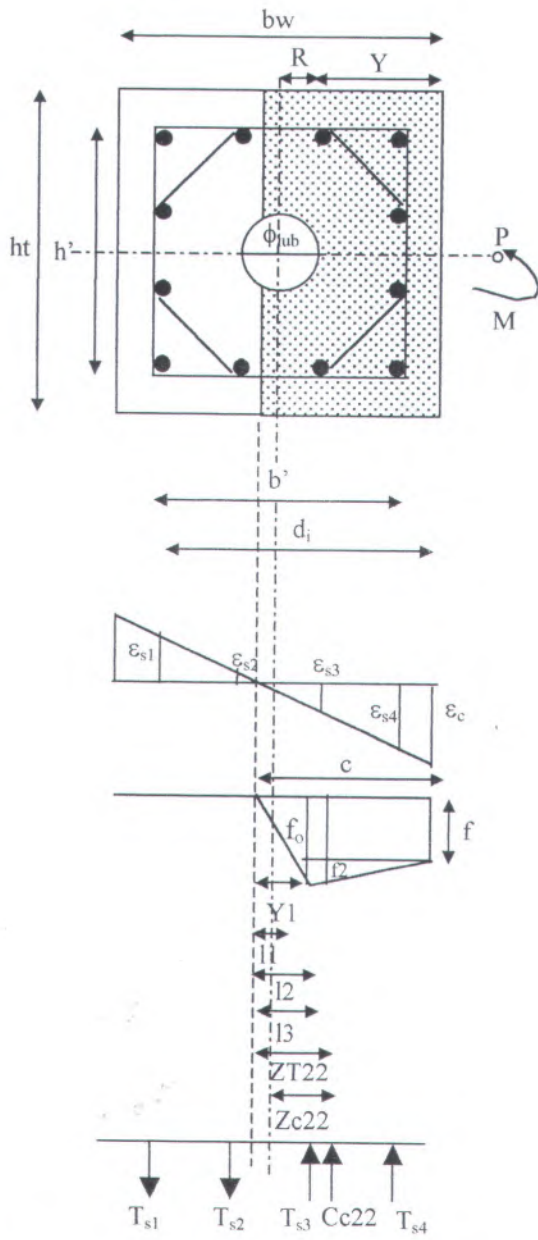
Gambar 3.6 Posisi  $c$  jika  $c \geq Y$  dan regangan beton pada daerah  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_o$



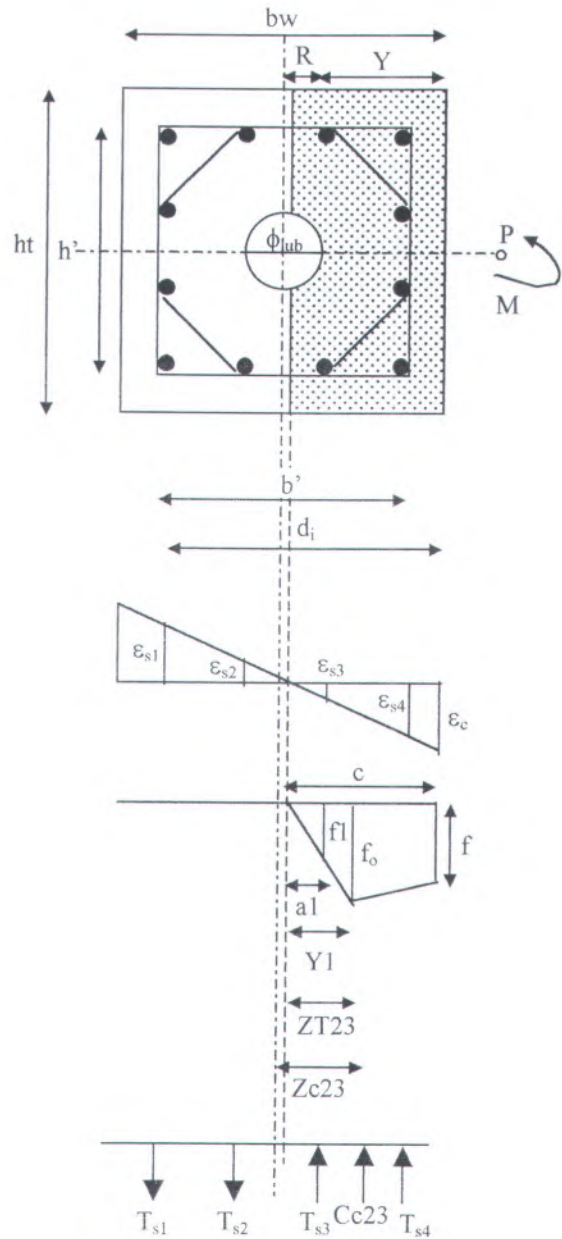
Gambar 3.7 Posisi  $c$  jika  $c < Y$  dan regangan beton pada daerah  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0$



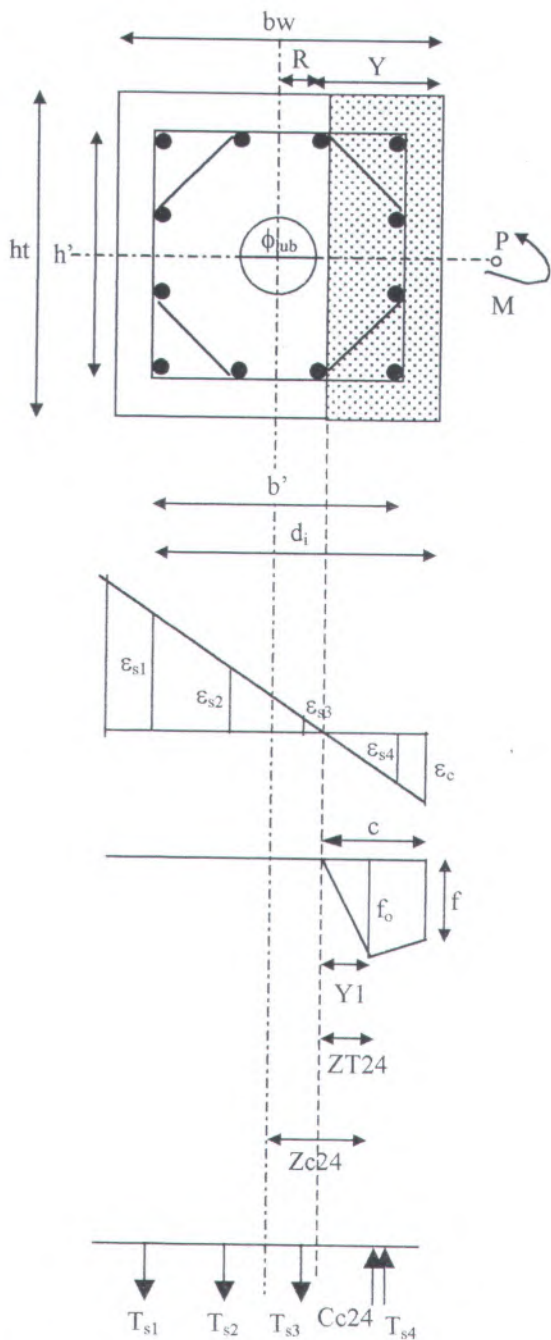
Gambar 3.8 Posisi  $c$  jika  $c \geq Y + \phi_{lub}$  dan regangan beton pada daerah  $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$



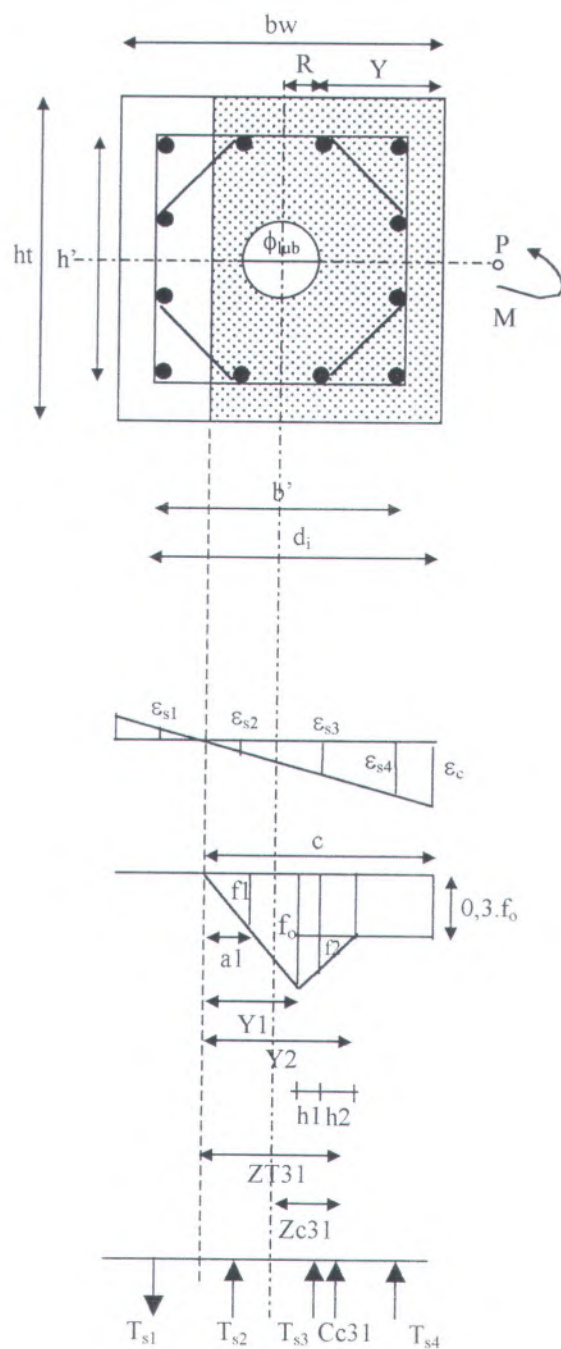
Gambar 3.9 Posisi  $c$  jika  $c \geq Y + R$  dan regangan beton pada daerah  $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$



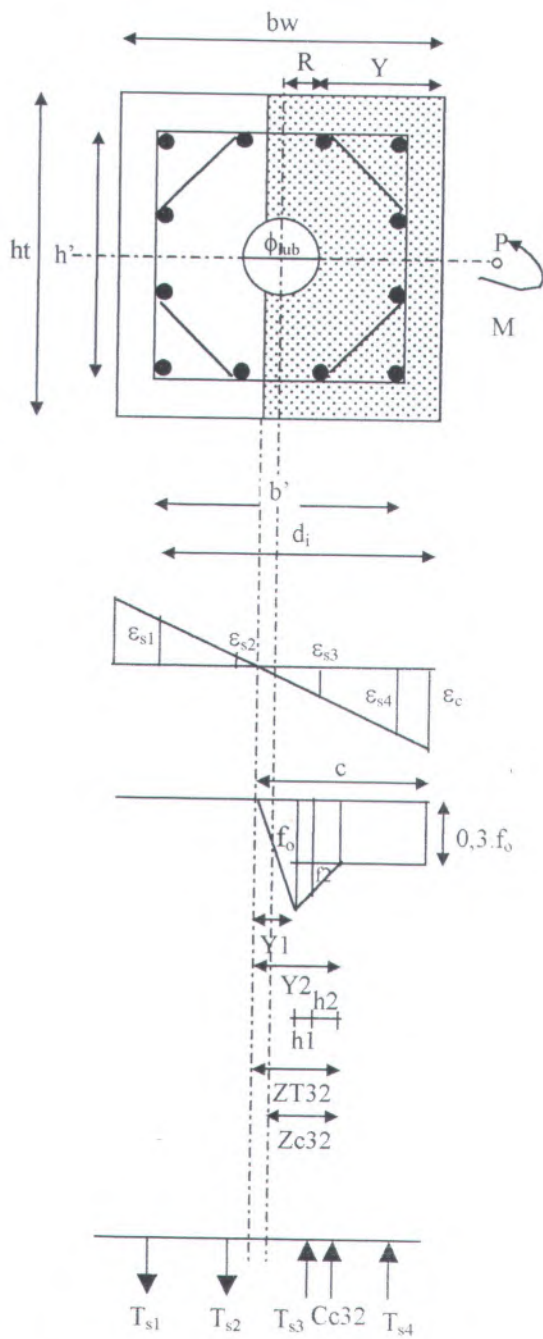
Gambar 3.10 Posisi  $c$  jika  $c \geq Y$  dan regangan beton pada daerah  $\epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_1$



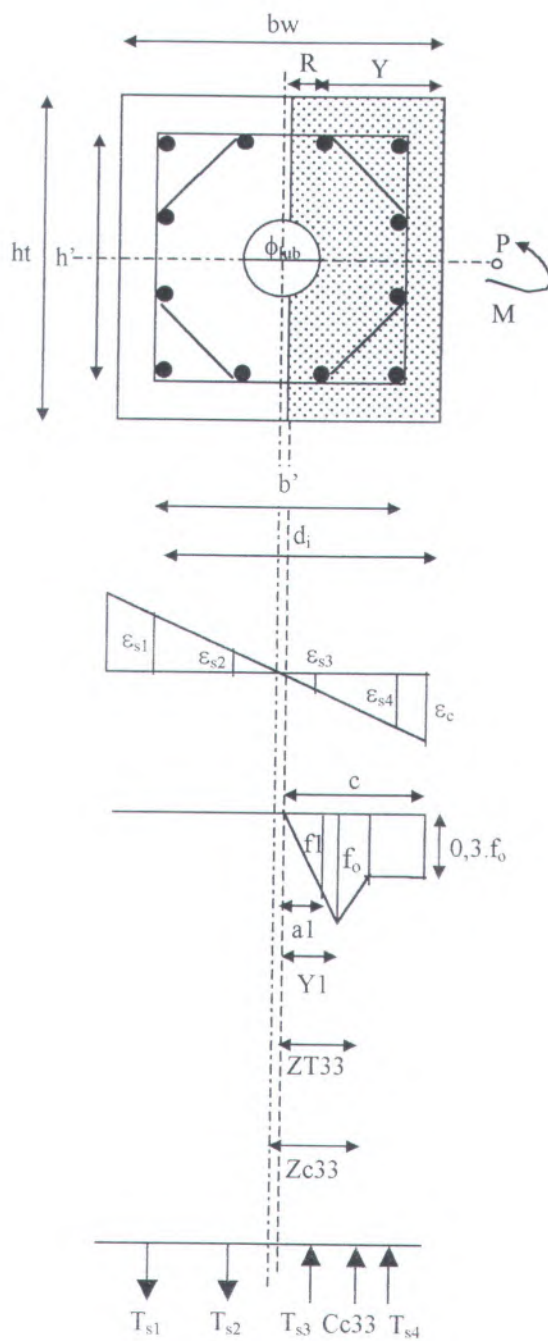
Gambar 3.11 Posisi  $c$  jika  $c < Y$  dan regangan beton pada daerah  $\epsilon_o \leq \epsilon_c \leq \epsilon_l$



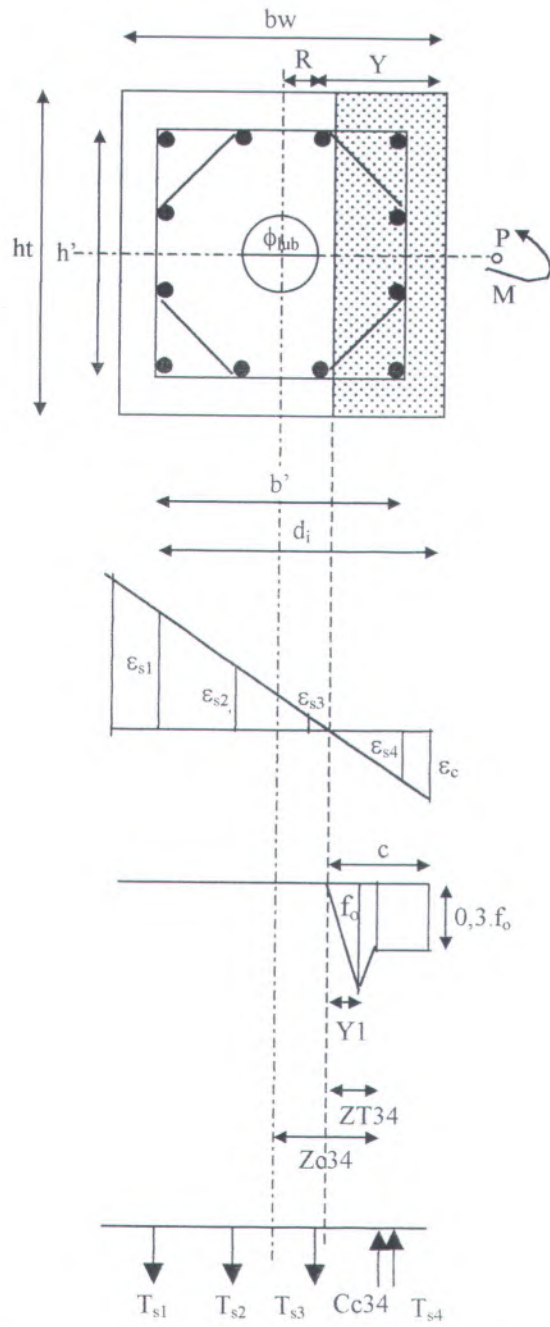
Gambar 3.12 Posisi  $c$  jika  $c \geq Y + \phi_{lub}$  dan regangan beton pada daerah  $\epsilon_c \geq \epsilon_l$



Gambar 3.13 Posisi  $c$  jika  $c \geq Y + R$  dan regangan beton pada daerah  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$



Gambar 3.14 Posisi  $c$  jika  $c \geq Y$  dan regangan beton pada daerah  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$



Gambar 3.15 Posisi  $c$  jika  $c < Y$  dan regangan beton pada daerah  $\epsilon_c \geq \epsilon_1$



### 3.5. Persiapan Material dan Peralatan Untuk Pembuatan Benda Uji

Setelah perencanaan benda uji secara analitis, maka dilakukan penentuan material dan peralatan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji agar dapat bermanfaat secara optimal. Material dan peralatan yang harus disiapkan terlebih dahulu untuk pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Tulangan baja longitudinal, sengkang dan kawat bendrat serta peralatan untuk perakitan tulangan.
2. Pipa PVC untuk membuat lubang pada penampang.
3. Tripleks, kayu reng dan paku serta peralatan lain untuk pembuatan bekisting.
4. Pemesanan campuran semen mutu tinggi, yang dalam penelitian ini mix-designnya direncanakan oleh PT. Jaya Ready Mix Yogyakarta.
5. Pembuatan satu set yokes dengan peralatan yang terdiri dari besi siku, pelat, las listrik dan lem Epoxy.

### 3.6. Pengujian Kombinasi Gaya Aksial dan Lentur Benda Uji Kolom

Hasil perhitungan analitis akhir digunakan untuk penentuan beban maksimum yang kemungkinan akan dicapai pada saat pengujian, dari prediksi analitis kita dapat membuat interval pembebanannya, mulai dari pada saat awal atau pada bagian grafik yang meningkat sampai pada saat bagian grafik yang menurun.

Yang perlu diperhatikan dalam pengujian adalah pada saat setelah pembebanan mencapai maksimum dan beban akan turun dengan cepat serta lendutan juga akan meningkat dengan cepat, bila tidak hati-hati maka akan kehilangan banyak data yang berakibat hasil yang diperoleh kurang baik karena perilaku setelah beban maksimum tidak dapat diperoleh sehingga daktilitas kurvatur benda uji tidak dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan analitis akhir.

Untuk mengatasi hal tersebut maka program pembebanan arah transversal dibagi menjadi 2 tahap, yaitu:

1. Kontrol beban (*Load Control*), yaitu peningkatan pembebanan sebelum mencapai beban maksimum dikontrol dengan penetapan interval beban yang diberikan.
2. Kontrol Lendutan (*Displacement Based Control*), yaitu setelah kolom melewati beban maksimum dan memasuki tahap perlemahan (*softening*) maka program pembebanan

dikontrol berdasarkan penambahan lendutan yang ditetapkan dan melalui Load Cell atau Hidraulick Jack kita catat beban transversal yang diperoleh.

Pada Gambar 3.17 s/d 3.18 dan Gambar 3.19 s/d 3.20 diperlihatkan cara pembebanan untuk benda uji dan cara pemasangan yokes, LVDT, serta dial gauge 100 mm untuk mencatat data perubahan yang terjadi. Untuk perubahan lendutan diperoleh dari pencatatan data dial gauge, dan perubahan rotasi dicatat dari perubahan rotasi yokes yang didapat dari pencatatan data LVDT pada bagian serat tekan (LVDT 50 mm) dan serat tarik (LVDT 100 mm), data rotasi yokes ini digunakan untuk memperhitungkan kurvatur benda uji.

Untuk memperhitungkan kurvatur kolom hasil eksperimen digunakan rumus yang berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pendyala, dkk. (1996), yaitu :

$$\varphi = \frac{\Delta_c + \Delta_t}{l \cdot h} \quad (3.65)$$

Kemudian dari data LVDT dapat dihitung pula nilai garis netral penampang, regangan beton daerah tekan, regangan baja dan daktilitas kurvatur (lihat Gambar 3.16) dengan rumus sebagai berikut :

#### a. Kurvatur kolom

$$\varepsilon_{cl} = \frac{\Delta_c}{l}$$

$$\varepsilon_{tl} = \frac{\Delta_t}{l}$$

$$\varphi = \frac{\varepsilon_{cl} + \varepsilon_{tl}}{h} = \frac{\Delta_c + \Delta_t}{l \cdot h} \quad (3.66)$$

ternyata rumus kurvatur pada persamaan (3.66) sama dengan persamaan (3.65) yang digunakan oleh Pendyala, dkk. (1996).

#### b. Garis netral penampang kolom

$$c = \frac{\varepsilon_{cl} - \varphi \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot (h - ht) \right]}{\varphi} \quad (3.67)$$

#### c. Regangan tekan beton

$$\varepsilon_c = c \cdot \varphi \quad (3.68)$$

**d. Regangan tulangan baja**

Jika  $c > d_i$  maka :  $\epsilon_{si} = \epsilon_c \cdot \left( \frac{c - d_i}{c} \right)$  (3.69)

Jika  $c < d_i$  maka :  $\epsilon_{si} = \epsilon_c \cdot \left( \frac{d_i - c}{c} \right)$  (3.70)

dimana :  $\epsilon_{si}$  adalah regangan tiap tulangan baja yang ditinjau dan  $d_i$  adalah jarak tiap tulangan baja yang ditinjau.

Dari hasil regangan baja yang diperoleh dapat diketahui tulangan baja yang pertama kali leleh.

**e. Kurvatur leleh pertama**

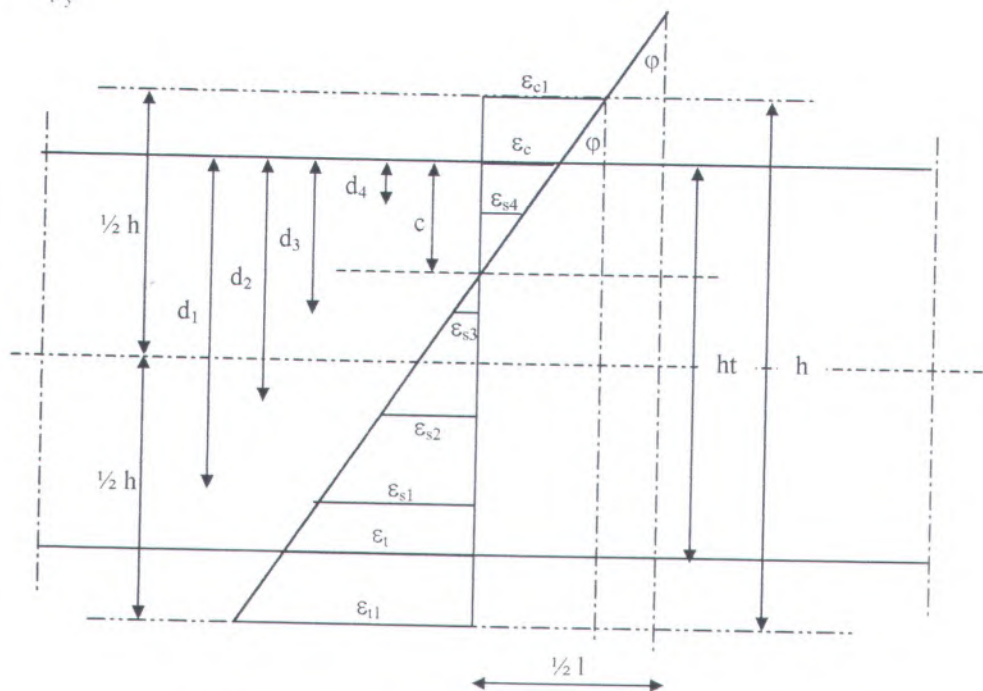
$\phi_y$  ditentukan berdasarkan nilai kurvatur pada saat regangan baja yang pertama kali mencapai regangan lelehnya.

**f. Kurvatur ultimit**

$\phi_u$  ditentukan berdasarkan nilai kurvatur pada saat momen sebesar  $0,80.M_{max}$  setelah melewati nilai momen maksimum.

**g. Daktilitas Kurvatur**

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \tag{3.71}$$

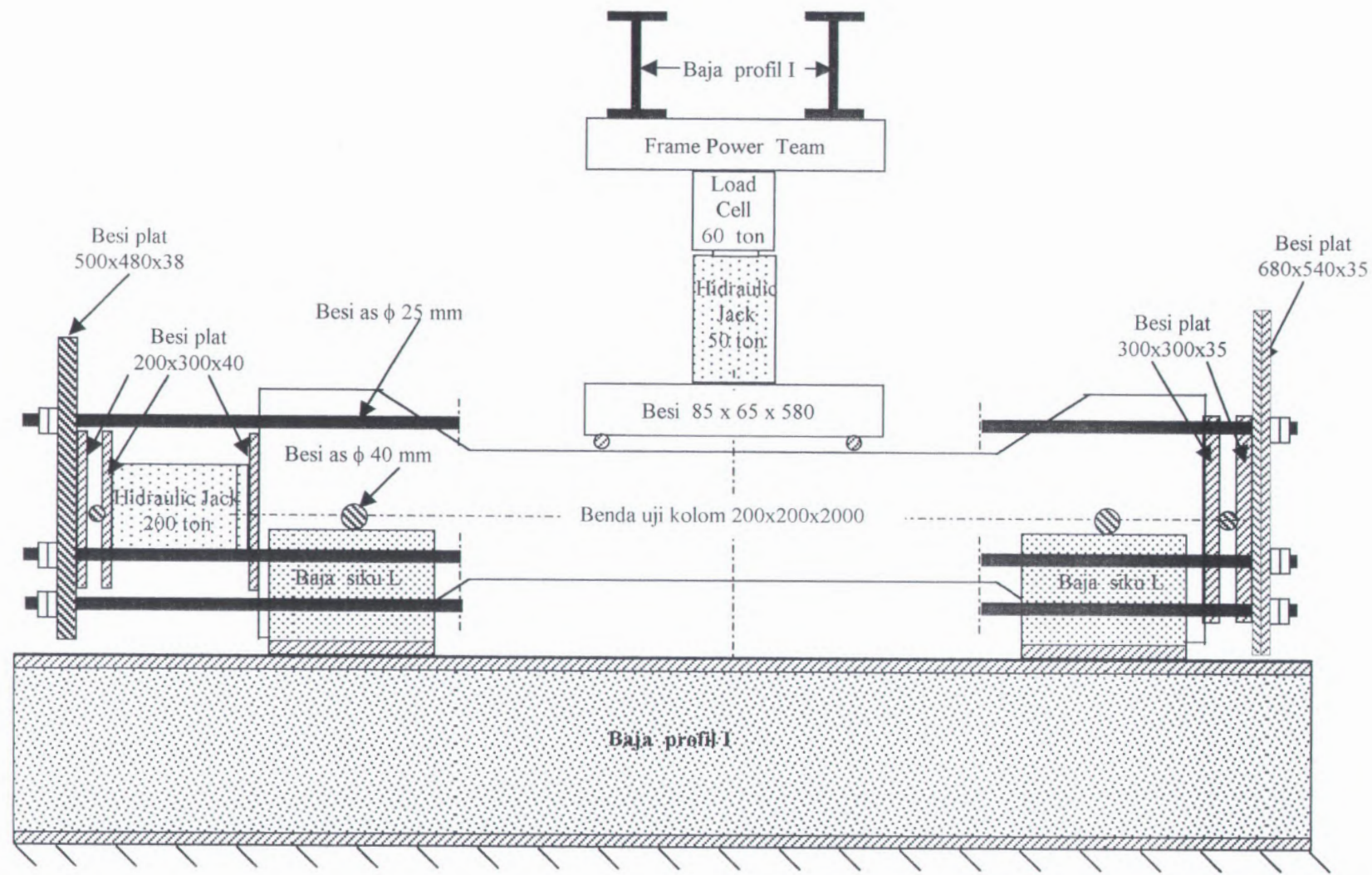


Gambar 3.16 Sketsa perhitungan kurvatur kolom hasil uji eksperimen

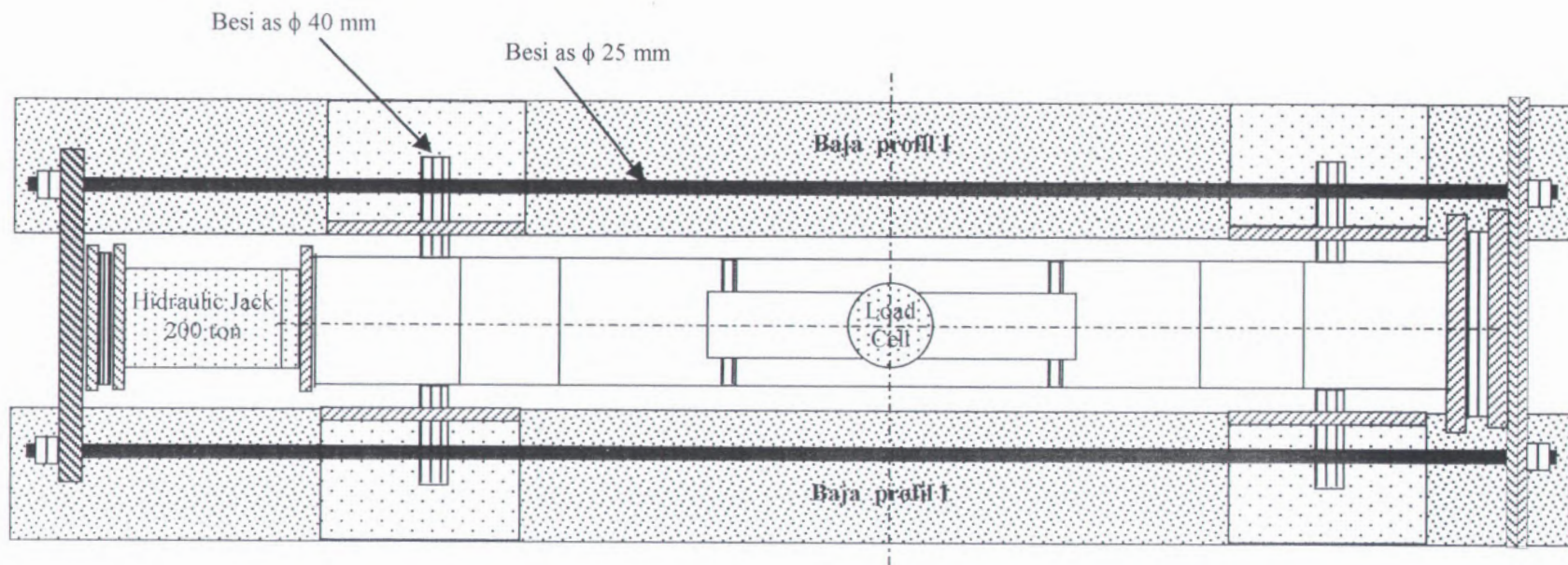
Langkah-langkah dan peralatan yang akan digunakan pada saat pengujian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Setelah benda uji berumur 28 hari dilakukan pengecatan pada sisi-sisi benda uji dengan warna putih dan memberi garis-garis grid horisontal dan vertikal selebar 5 cm sebagai panduan untuk menentukan lokasi retak pada kolom, serta memberi nama benda uji sesuai dengan karakteristiknya.
2. Persiapan pengujian dilakukan sehari sebelumnya yang meliputi antara lain : pemasangan pelat penahan beban aksial, penempatan benda uji kolom pada tumpuan benda uji dengan menggunakan crane kapasitas 5 ton, pemasangan besi as pada ujung-ujung benda uji yang berfungsi sebagai rol, pemasangan Hidraulick Jack untuk beban aksial dan beban transversal, pemasangan besi as untuk membuat pembebanan 2 titik, pemasangan Load Cell, serta pemasangan yokes dengan menggunakan lem epoxy yang didiamkan selama satu hari.
3. Setelah yokes menempel pada benda uji, kemudian dilakukan pemasangan LVDT pada yokes dan disalurkan pada transducer, pemasangan kabel Load Cell yang disalurkan pada transducer, pemasangan dial gauge pada bagian bawah benda uji.
4. Pengujian pertama kali dilakukan dengan memberikan beban aksial tetap sebesar 50 ton dengan menggunakan Hidraulick Jack kapasitas 200 ton, setelah itu dilanjutkan dengan pemberian beban transversal dengan menggunakan Hidraulick Jack kapasitas 50 ton.
5. Pengujian dilakukan dengan interval beban yang telah direncanakan dan dicatat hasil defleksi masing-masing alat ukur setiap interval beban.
6. Selama proses pengujian dilakukan pengamatan pola retaknya mulai dari retak pertama sampai dengan beban maksimum dan terkelupasnya beton pada daerah tekan (*spalling*) dengan cara menggambarinya pada benda uji dengan spidol warna serta nomer retak juga dicantumkan.
7. Mencatat beban yang bekerja dari transducer Load Cell dan manometer Hidraulick Jack arah transversal dan mengamati pada saat posisi-posisi penting antara lain pada saat retak pertama, beban maksimum, dan *spalling*.
8. Sebelum, saat dan setelah pengujian hasilnya diabadikan dengan foto-foto pada masing-masing benda uji kolom.

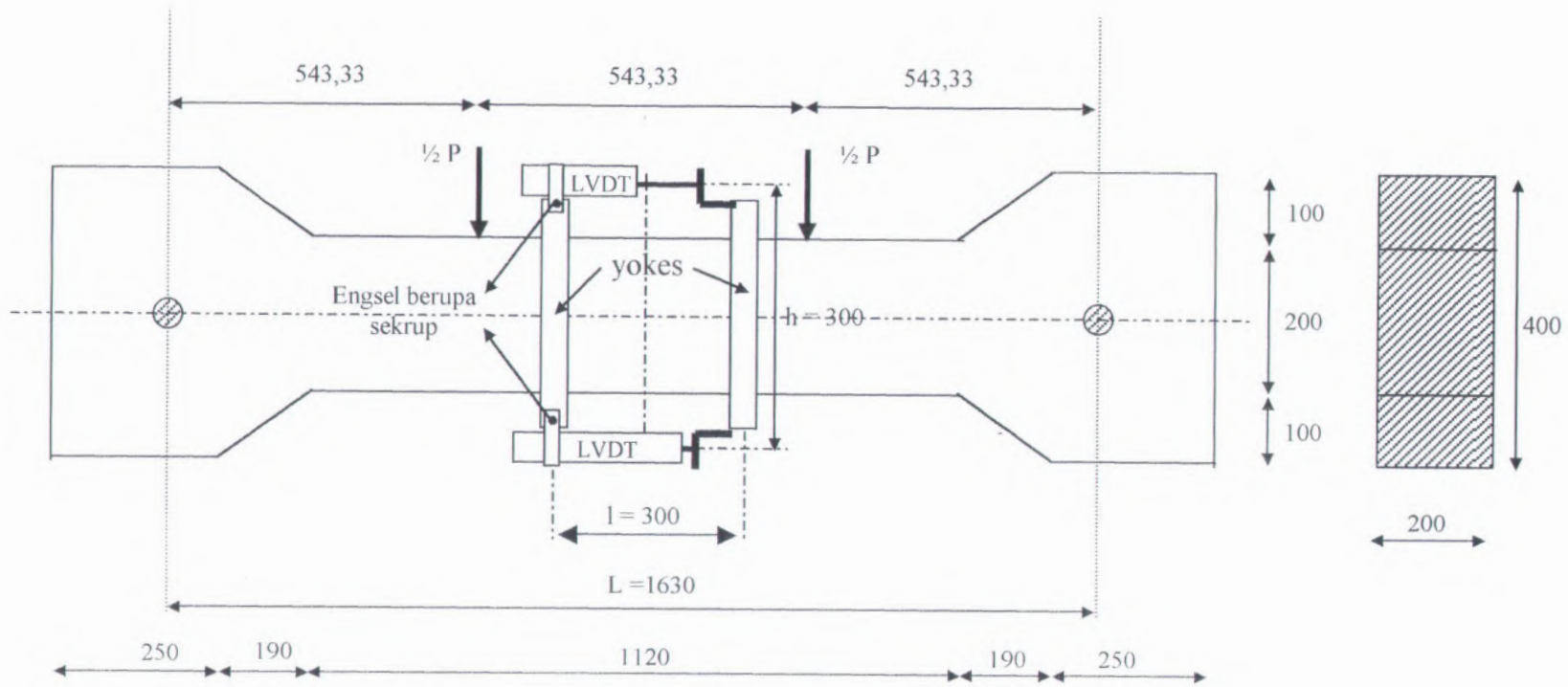
9. Setelah pengujian yokes dan alat-alat ukur dilepas untuk kemudian dipasangkan pada benda uji berikutnya.
10. Melakukan pengamatan benda uji yang telah hancur khususnya pada bagian tengah daerah serat tekan beton yang telah hancur.
11. Pemindahan benda uji yang telah diuji dengan menggunakan crane kapasitas 5 ton.
12. Melakukan pengesetan benda uji seperti langkah 2 sampai dengan 11.
13. Langkah pengujian ini dilakukan sampai 7 buah sample benda uji kolom teruji semua.



Gambar 3.17 Tampak samping setup pembebanan benda uji kolom

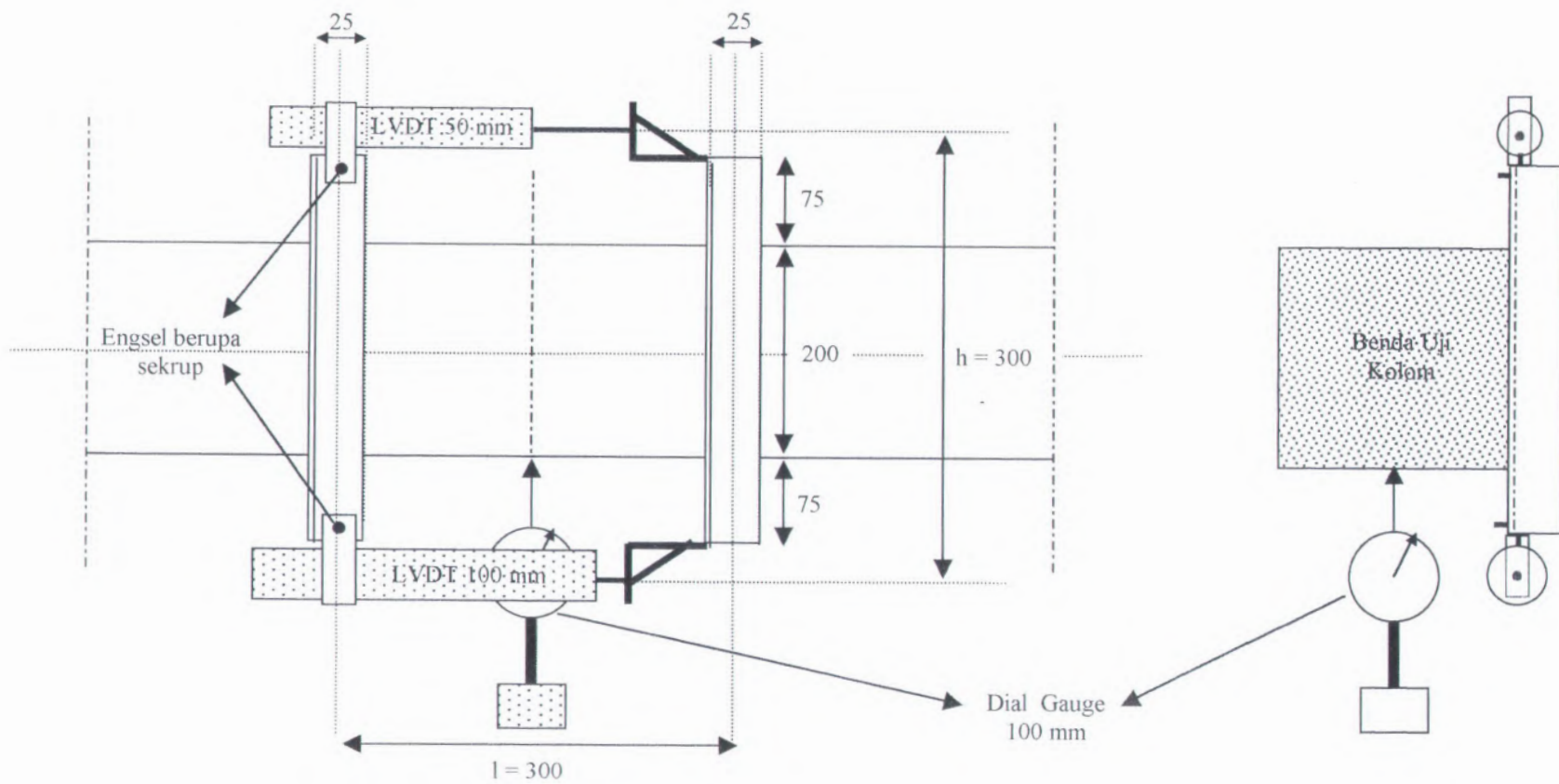


Gambar 3.18 Tampak atas setup pembebanan benda uji kolom



Gambar 3.19 Skema pemasangan Yokes dan LVDT





Gambar 3.20 Detail pemasangan Yokes dan Dial gauge

## BAB IV

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pengujian Eksperimental

Pengujian eksperimental yang dilakukan di laboratorium meliputi pengujian kekuatan tarik baja tulangan dan kekuatan tekan beton serta pengujian pembebanan pada benda uji kolom. Untuk mengetahui kekuatan tarik baja direncanakan menggunakan tulangan longitudinal diameter 13 mm (ulir) dan tulangan sengkang diameter 8 mm dan untuk pengujian kuat tekan beton digunakan silinder  $\phi 150 \times 300$  mm.

##### 4.1.1. Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi

Mutu beton yang direncanakan yaitu  $f_c' = 60$  MPa yang dipesan langsung dari PT. Jaya Readymix Yogyakarta, dengan proporsi campuran sebagai berikut :

Tabel 4.1. Komposisi campuran beton mutu 60 MPa

<b>Mix -Design</b>	
Grade	K550
Slump (cm)	$10 \pm 2$
Cement Content ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	550
Nominal Water ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	180
Water Cement Ratio	0,33
Split 10/20 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	940
Sand ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	740
Admixture :	
1. Retarder (Plastocrete-R) $\text{ltr}/\text{m}^3$	1,59
2. Superplasticizer (Sika-LN) $\text{ltr}/\text{m}^3$	2,0

#### 4.1.2. Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja

Pengujian kuat tarik tulangan baja dilakukan pada tulangan baja ulir D13 dan tulangan baja polos D8. Benda uji yang digunakan untuk masing-masing diameter tulangan sebanyak 5 buah.

Pengujian kuat tarik tulangan baja ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Bahan PAU UGM Yogyakarta dengan menggunakan mesin UTS (*United Testing System*), hasil dari pengujian ini berupa grafik hubungan tegangan-regangan baja yang dicetak langsung melalui printer mesin penguji. Data yang diperoleh dari grafik tersebut untuk data regangan tidak akurat karena Bergeraknya grade besi penjepit sample tulangan, sedangkan data untuk tegangan leleh dan tegangan ultimit masih akurat. Sehingga untuk mendapatkan data regangan baja kita harus memodifikasi grafik tersebut berdasarkan modulus elastisitas baja yang diambil sebesar 200.000 MPa.

Untuk tulangan baja ulir D13 dengan tegangan leleh rencana sebesar  $f_y = 400$  MPa didapat data hasil dari pengujian kuat tarik adalah  $f_y = 340$  MPa dan 2 sample gagal karena kesalahan dalam proses pembubutan sample tulangan yang akan diuji sehingga diameter sample tidak sama ukurannya sehingga sample tidak layak untuk diuji tarik.

Dan untuk tulangan baja polos D8 dengan tegangan leleh rencana sebesar  $f_y = 240$  MPa didapat data hasil dari pengujian kuat tarik adalah  $f_y = 360$  MPa dan 1 sample gagal karena kesalahan dalam proses pembubutan sample tulangan yang akan diuji sehingga diameter sample tidak sama ukurannya sehingga sample tidak layak untuk diuji tarik.

Ternyata hasil pengujian baja tulangan tidak sesuai dengan rencana sehingga berdasarkan data yang didapat dari hasil pengujian dilakukan revisi perhitungan analitis awal. Hasil pengujian kuat tarik tulangan baja diperlihatkan pada Lampiran I.

### 4.1.3. Pengujian Benda Uji Silinder Beton

Pengujian kuat tekan silinder beton ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Bahan PAU UGM Yogyakarta dengan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) kapasitas 200 ton. Benda uji silinder yang direncanakan adalah benda uji silinder standard dengan ukuran  $\phi 150 \times 300$  mm, sebanyak 20 buah. Pada pengujian benda uji silinder ini ada 4 buah silinder yang tidak terekam datanya karena 4 buah silinder ini diuji di PT. Jaya Readymix dan ternyata datanya hilang ketika diminta data hasil pengujiannya. Hasil pengujian kuat tekan benda uji silinder didapat kuat tekan rata-rata 60 MPa dan hasil ini sesuai dengan mutu yang direncanakan. Hasil pengujian kuat tekan silinder beton diperlihatkan pada Lampiran II.

### 4.2. Spesifikasi Benda Uji Kolom

Setelah dilakukan pengujian bahan di Laboratorium yang meliputi pengujian tulangan baja dan mutu beton rencana maka analisa teoritis asumsi awal diadakan koreksi kembali berdasarkan data hasil pengujian di Laboratorium agar diperoleh hasil analisa teoritis yang lebih akurat sehingga dipilih tujuh benda uji kolom yang akan diuji kekuatan lentur dan daktilitasnya, rincian benda uji kolom dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Perincian Rencana Benda Uji Kolom Segiempat Ukuran 200 x 200 mm

Kode Benda Uji	$\phi_t$ (mm)	$\phi_s$ (mm)	$\rho_t$	$\rho_s$	$f_{yt}$ (MPa)	$f_{yh}$ (MPa)	S (mm)	$\phi_{lub}$ (mm)	Rasio Lubang (%)
KST.1.0	12,68	7	0,0455	0,0184	340	360	50	0	0
KST.1.1	12,68	7	0,0455	0,0184	340	360	50	48	4,52
KST.1.2	12,68	7	0,0455	0,0184	340	360	50	60	7,07
KST.1.3	12,68	7	0,0455	0,0184	340	360	50	75	11,04
KSR.2.0	12,68	7	0,0455	0,0220	340	360	75	0	0
KSR.2.2	12,68	7	0,0455	0,0220	340	360	75	60	7,07
KSR.2.3	12,68	7	0,0455	0,0220	340	360	75	75	11,04

**Keterangan notasi benda uji :**

- KST berarti Kolom Sengkang Tunggal
- KSR berarti Kolom Sengkang Rangkap

**Angka pertama menunjukkan 2 arti :**

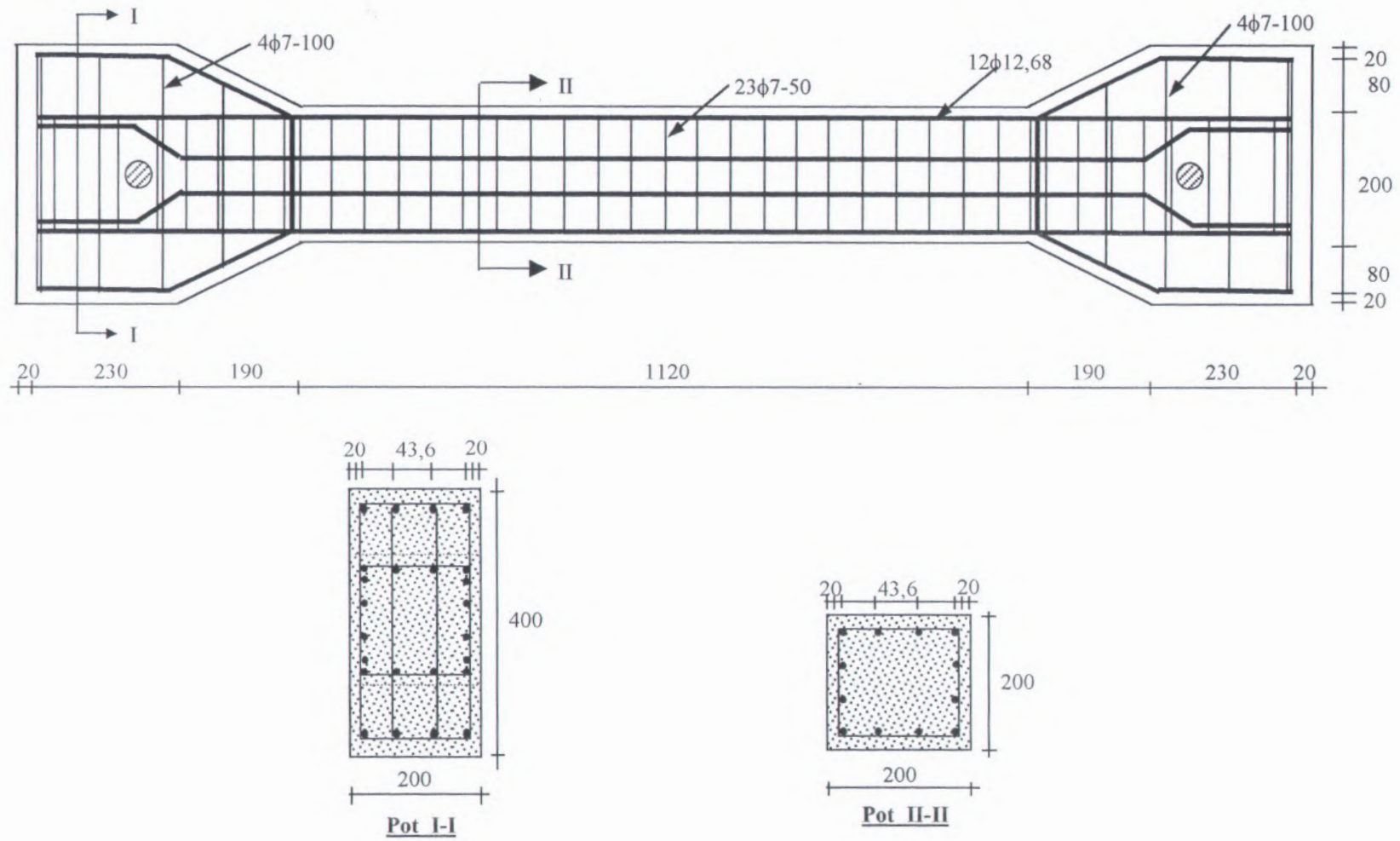
- Angka 1 berarti jarak spasi sengkang 50 mm
- Angka 2 berarti jarak spasi sengkang 75 mm

**Angka kedua menunjukkan 4 arti :**

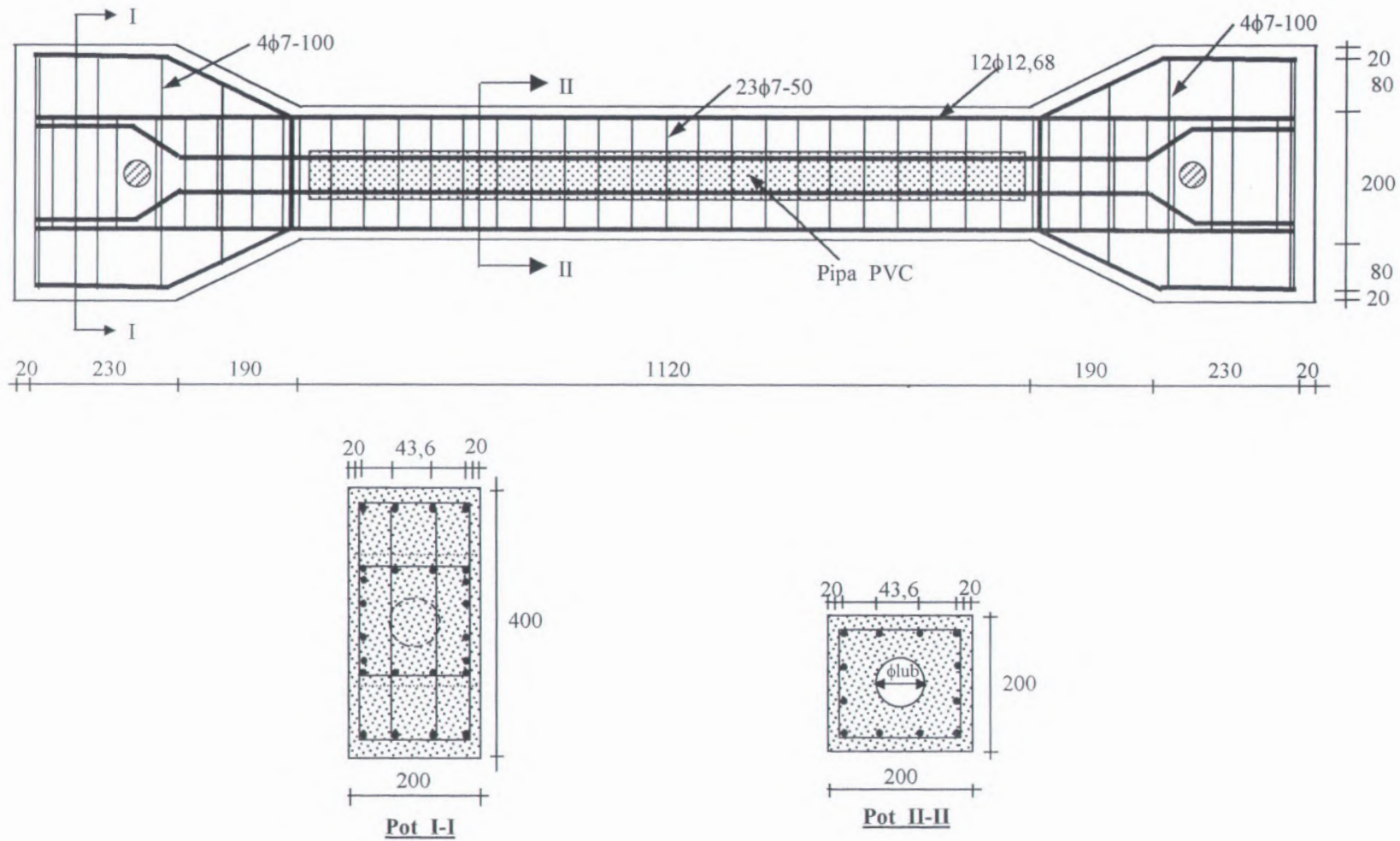
- Angka 0 berarti rasio lubang 0 % atau tanpa lubang
- Angka 1 berarti rasio lubang 4,52 % atau diameter lubang 48 mm
- Angka 2 berarti rasio lubang 7,07 % atau diameter lubang 60 mm
- Angka 3 berarti rasio lubang 11,04 % atau diameter lubang 75 mm

Pemilihan kolom dengan sengkang tunggal dimaksudkan untuk mengetahui nilai daktilitas kolom yang menggunakan persyaratan jarak spasi sengkang menurut ACI 318-95 dan sebagai data pembanding untuk kolom dengan sengkang rangkap. Sedangkan pemilihan kolom dengan sengkang rangkap dimaksudkan untuk meningkatkan mutu pengekangan agar diharapkan kolom dapat lebih berperilaku daktail sehingga dapat diketahui persentase pertambahan kekuatan lentur dan daktilitasnya, disamping itu peneliti juga ingin mengetahui pengaruh persentase lubang yang melebihi 4% terhadap kekuatan lentur dan daktilitasnya.. Pada kolom dengan sengkang rangkap untuk rasio lubang 4,52 % tidak dipilih sebagai benda uji rencana karena cukup diwakili benda uji dengan sengkang tunggal dan juga dikarenakan keterbatasan dana penelitian

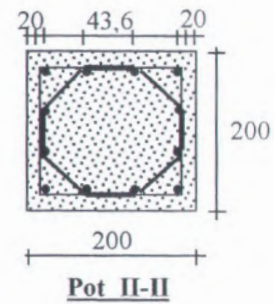
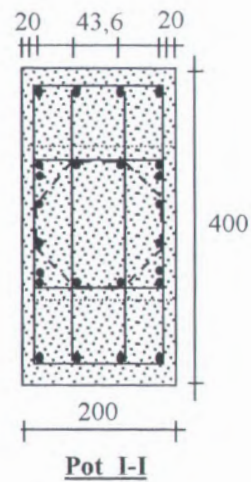
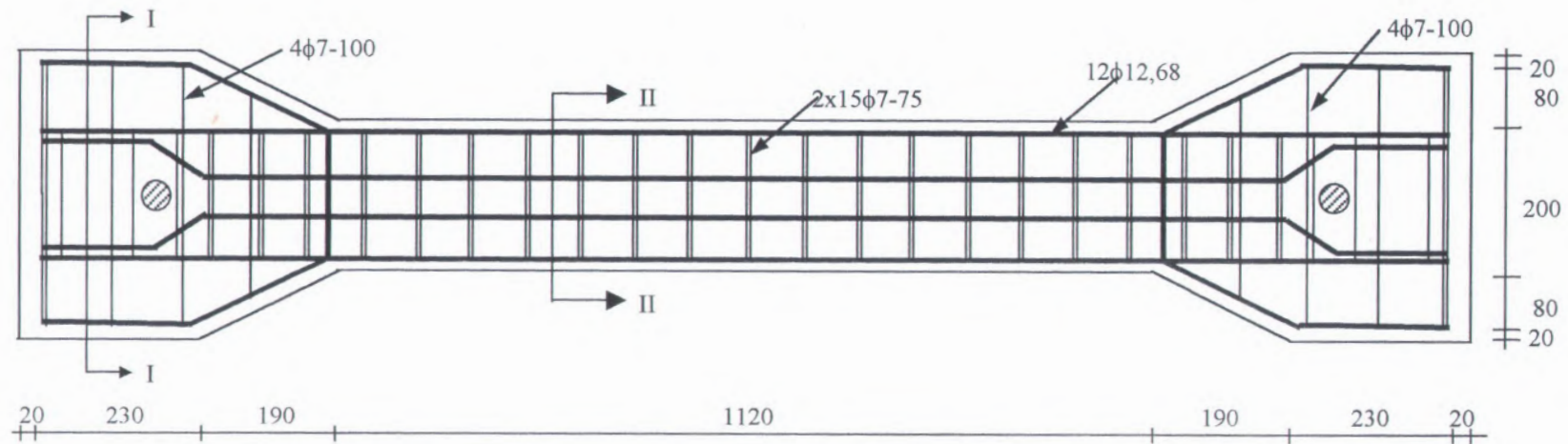
Gambar sketsa penulangan benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.1 s/d 4.4.



Gambar 4.1 Sketsa penulangan benda uji KST.1.0

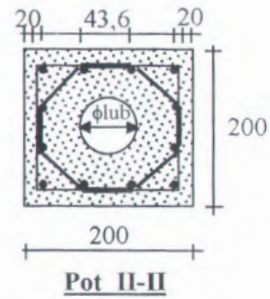
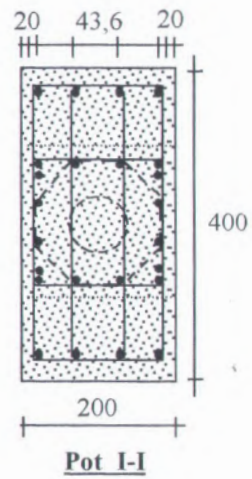
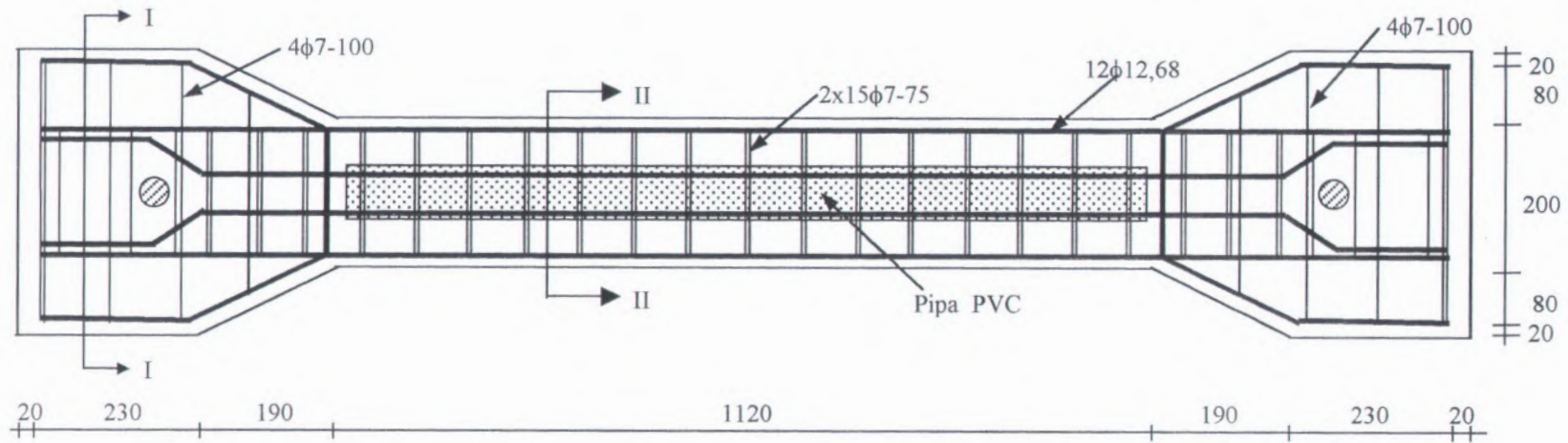


Gambar 4.2 Sketsa penulangan benda uji KST.1.1, KST.1.2 dan KST.1.3



Gambar 4.3 Sketsa penulangan benda uji KSR.2.0





Gambar 4.4 Sketsa penulangan benda uji KSR.2.2 dan KSR.2.3

### **4.3. Pengujian Pembebanan Benda Uji Kolom**

Pengujian pembebanan benda uji kolom dilakukan di Laboratorium Mekanika Bahan PAU UGM Yogyakarta sesuai dengan setup pengujian yang telah direncanakan sebelumnya. Pada pengujian ini pertama kali hanya satu benda uji saja yang diuji untuk dianalisa apakah setup alat pengujian dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan, setelah hasilnya dikonsultasikan dengan pembimbing dan dilihat ternyata setup alat dapat berfungsi seperti yang diharapkan maka dilanjutkan dengan pengujian benda uji berikutnya. Selama pengujian ini dianalisa terus jika ada kekurangan pada saat pengujian sehingga untuk perbaikan pada pengujian berikutnya agar didapat hasil yang lebih akurat.

#### **a. Penjelasan gambar pola retak benda uji**

Sebelum membuat sketsa retak maka benda uji dibuat garis petak-petak bujursangkar berukuran 50 mm x 50 mm, kemudian retak beton pada bagian depan dan belakang benda uji diamati dan diberi warna dengan spidol, pembuatan sketsa retak benda uji hanya sampai beban spalling.

Gambar pola retak seluruh benda uji dapat dilihat pada Lampiran VI dengan penjelasan sebagai berikut :

##### **1. Pola retak benda uji KST.1.0**

Pada benda uji ini beban retak pertama kali adalah pada beban  $P = 16$  ton yang diawali dengan retak lentur pada daerah tarik beton, kemudian seiring dengan bertambahnya beban transversal maka retak terus memanjang naik kebagian daerah tekan beton dan retak juga melebar menuju ke tumpuan dengan pola retak miring. Setelah beban maksimum pada beban  $P = 29$  ton terlampaui maka selimut atas beton pada daerah tekan beton mengelupas semua (*spalling*) pada beban  $P = 27$  ton selebar 350 mm dan beban transversal ditambah terus sehingga selimut beton pada bagian samping juga mulai mengelupas (lihat Gambar VI.1).

## **2. Pola retak benda uji KST.1.1**

Pada benda uji ini beban retak pertama kali adalah pada beban  $P = 17$  ton yang diawali dengan retak lentur pada daerah tarik beton, kemudian seiring dengan bertambahnya beban transversal maka retak terus memanjang naik kebagian daerah tekan beton dan retak juga melebar menuju ke tumpuan dengan pola retak miring. Setelah beban maksimum pada beban  $P = 28,50$  ton terlampaui maka selimut atas beton pada daerah tekan beton mengelupas semua (*spalling*) pada beban  $P = 25,50$  ton selebar 250 mm dan beban transversal ditambah terus sehingga selimut beton pada bagian samping juga mulai mengelupas (lihat Gambar VI.2).

## **3. Pola retak benda uji KST.1.2**

Pada benda uji ini beban retak pertama kali adalah pada beban  $P = 18$  ton yang diawali dengan retak lentur pada daerah tarik beton, kemudian seiring dengan bertambahnya beban transversal maka retak terus memanjang naik kebagian daerah tekan beton dan retak juga melebar menuju ke tumpuan dengan pola retak miring. Setelah beban maksimum pada beban  $P = 27$  ton terlampaui maka selimut atas beton pada daerah tekan beton mengelupas semua (*spalling*) pada beban  $P = 25,75$  ton selebar 325 mm dan beban transversal ditambah terus sehingga selimut beton pada bagian samping juga mulai mengelupas (lihat Gambar VI.3).

## **4. Pola retak benda uji KST.1.3**

Pada benda uji ini beban retak pertama kali adalah pada beban  $P = 15$  ton yang diawali dengan retak lentur pada daerah tarik beton, kemudian seiring dengan bertambahnya beban transversal maka retak terus memanjang naik kebagian daerah tekan beton dan retak juga melebar menuju ke tumpuan dengan pola retak miring. Setelah beban maksimum pada beban  $P = 26$  ton terlampaui maka selimut atas beton pada daerah tekan beton mengelupas semua (*spalling*) pada beban  $P = 23$  ton selebar 350 mm dan beban transversal ditambah terus sehingga selimut beton pada bagian samping juga mulai mengelupas (lihat Gambar VI.4).

### **5. Pola retak benda uji KSR.2.0**

Pada benda uji ini beban retak pertama kali adalah pada beban  $P = 14$  ton yang diawali dengan retak lentur pada daerah tarik beton, kemudian seiring dengan bertambahnya beban transversal maka retak terus memanjang naik kebagian daerah tekan beton dan retak juga melebar menuju ke tumpuan dengan pola retak miring. Setelah beban maksimum pada beban  $P = 28$  ton terlampaui maka selimut atas beton pada daerah tekan beton mengelupas semua (*spalling*) pada beban  $P = 26$  ton selebar 350 mm dan beban transversal ditambah terus sehingga selimut beton pada bagian samping juga mulai mengelupas (lihat Gambar VI.5).

### **6. Pola retak benda uji KSR.2.2**

Pada benda uji ini beban retak pertama kali adalah pada beban  $P = 15$  ton yang diawali dengan retak lentur pada daerah tarik beton, kemudian seiring dengan bertambahnya beban transversal maka retak terus memanjang naik kebagian daerah tekan beton dan retak juga melebar menuju ke tumpuan dengan pola retak miring. Setelah beban maksimum pada beban  $P = 27$  ton terlampaui maka selimut atas beton pada daerah tekan beton mengelupas semua (*spalling*) pada beban  $P = 26$  ton selebar 250 mm dan beban transversal ditambah terus sehingga selimut beton pada bagian samping juga mulai mengelupas (lihat Gambar VI.6).

### **7. Pola retak benda uji KSR.2.3**

Pada benda uji ini beban retak pertama kali adalah pada beban  $P = 17$  ton yang diawali dengan retak lentur pada daerah tarik beton, kemudian seiring dengan bertambahnya beban transversal maka retak terus memanjang naik kebagian daerah tekan beton dan retak juga melebar menuju ke tumpuan dengan pola retak miring. Setelah beban maksimum pada beban  $P = 30$  ton terlampaui maka selimut atas beton pada daerah tekan beton mengelupas semua (*spalling*) pada beban  $P = 30$  ton selebar 400 mm dan beban transversal ditambah terus sehingga selimut beton pada bagian samping juga mulai mengelupas (lihat Gambar VI.7).

## **b. Proses pengujian benda uji**

Sebelum pengujian dilaksanakan semua setup alat pengujian disiapkan oleh petugas laboratorium dan dilakukan sesuai rencana sehingga selama percobaan dapat berfungsi dengan baik.

Proses selama pelaksanaan pengujian setiap benda uji dijelaskan sebagai berikut :

### **1. Benda uji KST.1.0**

Setup alat pengujian disiapkan oleh petugas laboratorium dan dilakukan sesuai rencana sehingga selama percobaan dapat berfungsi dengan baik.

Sebelum melakukan pengujian, dilakukan pengukuran jarak antara yokes yaitu sebesar  $l = 302$  mm dan tinggi antara LVDT adalah  $h = 307$  mm.

Pengujian dimulai dengan memberikan beban tetap ke arah aksial sebesar  $N = 50$  ton kemudian dilanjutkan dengan pembebanan transversal yang dimulai dari beban  $P = 0$  sampai dengan  $P = 30$  ton dengan penambahan beban 1 ton. Selama penambahan beban transversal ini beban aksial tetap dikontrol terus agar tidak terjadi penurunan beban.

Selama pembebanan dibawah beban maksimum pengujian berdasarkan kontrol pembebanan (*Load Control*), didapat beban pada saat retak pertama sebesar  $P = 16$  ton dan saat beban maksimum sebesar  $P = 29$  ton serta pada saat beton spalling sebesar  $P = 27$  ton.

Setelah dicapai beban maksimum maka cara pengujian dirubah menjadi kontrol lendutan (*Displacement Based Control*) karena jika tetap berdasarkan kontrol beban maka kita tidak dapat mencatat besarnya lendutan yang bergerak sangat cepat, sehingga dengan kontrol terhadap lendutan yang kita tetapkan penurunannya terlebih dahulu kita catat besarnya beban pada saat lendutan tersebut, begitu seterusnya sampai benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal dan pengujian dihentikan.

Dari pengujian ini didapat lendutan pada saat retak pertama sebesar 4,60 mm, saat beban maksimum sebesar 13,50 mm, dan saat beton spalling sebesar 17,14 mm serta pada saat beban akhir sebesar 49,41 mm.

Pada pengujian ini data kurvatur hanya terukur sampai pada beban 19,50 ton setelah beban maksimum karena retak beton pada daerah tekan terus melebar dan mengenai beton tempat melekatnya besi yokes sehingga besi yokes terlepas, tetapi pembebanan tetap diteruskan untuk memperoleh data lendutan sedangkan data kurvatur tidak dapat terekam lagi.

Ternyata selama pembebanan transversal sampai melampaui beban maksimum beban aksial masih tetap tapi setelah benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal pada beban akhir sebesar  $P = 7$  ton terjadi penurunan beban aksial sebesar 2 ton dan hal ini dibiarkan saja karena jika dilakukan penambahan beban dikuatirkan akan menambah lendutan akan semakin besar dan benda uji akan runtuh karena beban aksial. Pola retak benda uji KST.1.0 dapat dilihat pada Gambar VI.1.

## 2. Benda uji KST.1.1

Sebelum pengujian KST.1.1, dilakukan pengukuran jarak antara yokes yaitu sebesar  $l = 300$  mm dan tinggi antara LVDT adalah  $h = 310$  mm.

Pada pengujian benda uji ini digunakan strain gauge beton untuk mengukur regangan beton yang dipasang pada daerah tekan beton tapi datanya hanya dapat tercatat sampai beton spalling karena strain gauganya putus.

Pengujian dimulai dengan memberikan beban tetap kearah aksial sebesar  $N = 50$  ton kemudian dilanjutkan dengan pembebanan arah transversal yang dimulai dari beban  $P = 0$  sampai dengan  $P = 30$  ton dengan penambahan beban 1 ton. Selama penambahan beban transversal ini beban aksial tetap dikontrol terus agar tidak terjadi penurunan beban.

Selama pembebanan dibawah beban maksimum pengujian berdasarkan kontrol pembebanan (*Load Control*), didapat beban pada saat retak pertama sebesar  $P = 17$  ton dan saat beban maksimum sebesar  $P = 28,50$  ton serta beban pada saat beton spalling sebesar  $P = 25,50$  ton.

Setelah dicapai beban maksimum maka cara pengujian dirubah menjadi kontrol lendutan (*Displacement Based Control*) sampai benda uji tidak mampu lagi menahan

beban transversal dan pengujian dihentikan. Dari pengujian ini didapat lendutan pada saat retak pertama sebesar 4,53 mm, saat beban maksimum sebesar 12,08 mm, dan saat beton spalling sebesar 15,89 mm serta pada saat beban akhir sebesar 38,11 mm.

Data regangan beton didaerah tekan yang didapat berdasarkan data strain gauge, yaitu sebesar 0,0009 pada saat retak pertama, sebesar 0,0028 saat beban maksimum, dan sebesar 0,0038 pada saat beton spalling. Ternyata selama pembebanan transversal sampai melampaui beban maksimum beban aksial masih tetap tapi setelah benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal pengujian dihentikan pada beban akhir  $P = 13$  ton terjadi penurunan beban aksial sebesar 2 ton. Pola retak benda uji KST.1.1 dapat dilihat pada Gambar VI.2.

### 3. Benda uji KST.1.2

Benda uji tipe ini adalah merupakan benda uji yang pertama kali diuji sehingga ada mengalami sedikit masalah pada pencatatan lendutan karena dial gauge dipasang pada bagian atas daerah beton yang tertekan sehingga pada saat beton daerah tekan pecah maka data lendutan hanya dapat tercatat sampai 19,85 mm dan melengkungnya plat besi yang menahan beban aksial sehingga pengujian dihentikan pada saat beban akhir sebesar 13 ton.

Pengujian dimulai dengan memberikan beban tetap kearah aksial sebesar  $N = 50$  ton kemudian dilanjutkan dengan pembebanan arah transversal yang dimulai dari beban  $P = 0$  sampai dengan  $P = 30$  ton dengan penambahan beban 1 ton berdasarkan pembacaan transducer Load Cell tetapi ternyata beban pada pembacaan Load Cell tidak sama dengan pembacaan beban pada Hidraulic Jack sehingga akhirnya yang dipakai adalah data beban berdasarkan Hidraulic Jack karena setelah pengujian dilakukan kalibrasi Load Cell dan Hidraulic Jack dan yang akurat adalah pembacaan dari Hidraulic Jack.

Selama penambahan beban transversal ini beban aksial tetap dikontrol terus agar tidak terjadi penurunan beban.

Selama pembebanan dibawah beban maksimum pengujian berdasarkan kontrol pembebanan (*Load Control*), didapat beban pada saat retak pertama sebesar  $P = 18$  ton dan

saat beban maksimum sebesar  $P = 27$  ton serta beban pada saat beton spalling sebesar  $P = 25,75$  ton.

Setelah dicapai beban maksimum maka cara pengujian dirubah menjadi kontrol lendutan (*Displacement Based Control*) sampai benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal dan pengujian dihentikan. Dari pengujian ini didapat lendutan pada saat retak pertama sebesar 5,92 mm, saat beban maksimum sebesar 14,54 mm, saat beton spalling sebesar 16,43 mm, dan data lendutan terakhir hanya dapat terbaca pada beban  $P = 17,50$  ton sebesar 19,85 mm. Ternyata selama pembebanan transversal sampai melampaui beban maksimum beban aksial masih tetap tapi setelah benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal pengujian dihentikan pada beban akhir  $P = 13$  ton terjadi penurunan beban aksial sebesar 2 ton. Pola retak benda uji KST.1.2 dapat dilihat pada Gambar VI.3.

#### **4. Benda uji KST.1.3**

Sebelum pengujian KST.1.3, dilakukan pengukuran jarak antara yokes yaitu sebesar  $l = 308$  mm dan tinggi antara LVDT adalah  $h = 308$  mm.

Pengujian dimulai dengan memberikan beban tetap kearah aksial sebesar  $N = 50$  ton kemudian dilanjutkan dengan pembebanan arah transversal yang dimulai dari beban  $P = 0$  sampai dengan  $P = 30$  ton dengan penambahan beban 1 ton. Selama penambahan beban transversal ini beban aksial tetap dikontrol terus agar tidak terjadi penurunan beban.

Selama pembebanan dibawah beban maksimum pengujian berdasarkan kontrol pembebanan (*Load Control*), didapat beban pada saat retak pertama sebesar  $P = 15$  ton dan saat beban maksimum sebesar  $P = 26$  ton serta beban pada saat beton spalling sebesar  $P = 23$  ton.

Setelah dicapai beban maksimum maka cara pengujian dirubah menjadi kontrol lendutan (*Displacement Based Control*) sampai benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal dan pengujian dihentikan. Dari pengujian ini didapat lendutan pada saat retak pertama sebesar 4,51 mm, saat beban maksimum sebesar 14,68 mm, dan saat beton



spalling sebesar 16,20 mm serta pada saat beban akhir sebesar 38,11 mm. Ternyata selama pembebanan transversal sampai melampaui beban maksimum beban aksial masih tetap tapi setelah benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal pengujian dihentikan pada beban akhir  $P = 11$  ton terjadi penurunan beban aksial sebesar 10 ton. Pola retak benda uji KST.1.3 dapat dilihat pada Gambar VI.4.

## 5. Benda uji KSR.2.0

Sebelum pengujian KSR.2.0, dilakukan pengukuran jarak antara yokes yaitu sebesar  $l = 302$  mm dan tinggi antara LVDT adalah  $h = 308$  mm.

Pada pengujian benda uji ini digunakan strain gauge beton untuk mengukur regangan beton yang dipasang pada daerah tekan beton tapi datanya hanya dapat tercatat sampai beton spalling karena strain gauganya putus.

Pengujian dimulai dengan memberikan beban tetap kearah aksial sebesar  $N = 50$  ton kemudian dilanjutkan dengan pembebanan arah transversal yang dimulai dari beban  $P = 0$  sampai dengan  $P = 30$  ton dengan penambahan beban 1 ton. Selama penambahan beban transversal ini beban aksial tetap dikontrol terus agar tidak terjadi penurunan beban.

Selama pembebanan dibawah beban maksimum pengujian berdasarkan kontrol pembebanan (*Load Control*), didapat beban pada saat retak pertama sebesar  $P = 14$  ton dan saat beban maksimum sebesar  $P = 28$  ton serta beban pada saat beton spalling sebesar  $P = 26$  ton.

Setelah dicapai beban maksimum maka cara pengujian dirubah menjadi kontrol lendutan (*Displacement Based Control*) sampai benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal dan pengujian dihentikan. Dari pengujian ini didapat lendutan pada saat retak pertama sebesar 4,06 mm, saat beban maksimum sebesar 15,90 mm, dan saat beton spalling sebesar 18,25 mm serta pada saat beban akhir sebesar 42,26 mm.

Data regangan beton didaerah tekan didapat berdasarkan data strain gauge, yaitu sebesar 0,00070 pada saat retak pertama, sebesar 0,00282 saat beban maksimum dan sebesar 0,00322 pada saat beton spalling. Ternyata selama pembebanan transversal sampai

melampaui beban maksimum beban aksial masih tetap tapi setelah benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal pengujian dihentikan pada beban akhir  $P = 11$  ton terjadi penurunan beban aksial sebesar 2 ton. Pola retak benda uji KSR.2.0 dapat dilihat pada Gambar VI.5.

## 6. Benda uji KSR.2.2

Sebelum pengujian KSR.2.2, dilakukan pengukuran jarak antara yokes yaitu sebesar  $l = 300$  mm dan tinggi antara LVDT adalah  $h = 308$  mm.

Pada pengujian benda uji ini digunakan strain gauge beton untuk mengukur regangan beton yang dipasang pada daerah tekan beton tapi datanya hanya dapat tercatat sampai beton spalling.

Pengujian dimulai dengan memberikan beban tetap ke arah aksial sebesar  $N = 50$  ton kemudian dilanjutkan dengan pembebanan arah transversal yang dimulai dari beban  $P = 0$  sampai dengan  $P = 30$  ton dengan penambahan beban 1 ton. Selama penambahan beban transversal ini beban aksial tetap dikontrol terus agar tidak terjadi penurunan beban.

Selama pembebanan dibawah beban maksimum pengujian berdasarkan kontrol pembebanan (*Load Control*), didapat beban pada saat retak pertama sebesar  $P = 15$  ton dan saat beban maksimum sebesar  $P = 27$  ton serta beban pada saat beton spalling sebesar  $P = 26$  ton.

Setelah dicapai beban maksimum maka cara pengujian dirubah menjadi kontrol lendutan (*Displacement Based Control*) sampai benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal dan pengujian dihentikan pada beban akhir  $P = 11$  ton. Dari pengujian ini didapat lendutan pada saat retak pertama sebesar 4,58 mm, saat beban maksimum sebesar 18 mm, dan saat beton spalling sebesar 20,76 mm serta pada saat beban akhir sebesar 51,40 mm.

Data regangan beton didaerah tekan didapat berdasarkan data strain gauge, yaitu sebesar 0,00089 pada saat retak pertama, sebesar 0,00379 saat beban maksimum dan regangan saat beton spalling tidak dapat diperoleh karena strain gauge beton putus pada

saat retak beton sudah semakin besar pada daerah tekan. Ternyata selama pembebanan transversal sampai melampaui beban maksimum beban aksial masih tetap tapi setelah benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal pengujian dihentikan pada beban akhir  $P = 11$  ton terjadi penurunan beban aksial sebesar 2 ton. Pola retak benda uji KSR.2.2 dapat dilihat pada Gambar VI.6.

### 7. Benda uji KSR.2.3

Sebelum pengujian KSR.2.3, dilakukan pengukuran jarak antara yokes yaitu sebesar  $l = 300$  mm dan tinggi antara LVDT adalah  $h = 308$  mm.

Pada pengujian benda uji ini digunakan strain gauge beton untuk mengukur regangan beton yang dipasang pada daerah tekan beton tapi datanya hanya dapat tercatat sampai beton spalling karena strain gauganya putus.

Pengujian dimulai dengan memberikan beban tetap ke arah aksial sebesar  $N = 50$  ton kemudian dilanjutkan dengan pembebanan arah transversal yang dimulai dari beban  $P = 0$  sampai dengan  $P = 30$  ton dengan penambahan beban 1 ton. Selama penambahan beban transversal ini beban aksial tetap dikontrol terus agar tidak terjadi penurunan beban.

Selama pembebanan dibawah beban maksimum pengujian berdasarkan kontrol pembebanan (*Load Control*), didapat beban pada saat retak pertama sebesar  $P = 17$  ton dan saat beban maksimum sebesar  $P = 30$  ton serta beban pada saat beton spalling sebesar  $P = 30$  ton.

Setelah dicapai beban maksimum maka cara pengujian dirubah menjadi kontrol lendutan (*Displacement Based Control*) sampai benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal dan pengujian dihentikan. Dari pengujian ini didapat lendutan pada saat retak pertama sebesar 4,21 mm, saat beban maksimum sebesar 14,56 mm, dan saat beton spalling sebesar 14,56 mm serta pada saat beban akhir sebesar 43,37 mm.

Data regangan beton didaerah tekan didapat berdasarkan data strain gauge, yaitu sebesar 0,0008 pada saat retak pertama, sebesar 0,0031 saat beban maksimum, dan sebesar 0,0031 saat beton spalling. Ternyata selama pembebanan transversal sampai melampaui

beban maksimum beban aksial masih tetap tapi setelah benda uji tidak mampu lagi menahan beban transversal pengujian dihentikan pada beban akhir  $P = 9$  ton terjadi penurunan beban aksial sebesar 2 ton. Pola retak benda uji KSR.2.3 dapat dilihat pada Gambar VI.7.

#### 4.4. Hasil Pengujian Benda Uji Kolom

Dari uji pembebanan diperoleh data kurvatur, dan lendutan ditengah bentang. Dari data beban dan lendutan dibuat kurva hubungan beban-lendutan dan selanjutnya dari data beban dan kurvatur dapat dibuat kurva hubungan momen- daktilitas kurvatur.

Hasil analisa data pengujian eksperimen dapat dilihat pada tabel di Lampiran V dengan penjelasan sebagai berikut :

- Kolom 1 : Data beban transversal (P) dari Hidraulick Jack.
- Kolom 2 : Data lendutan ditengah bentang dari dial gauge ( $\Delta$ )
- Kolom 3 : Momen Primer dari beban (P) dihitung dengan rumus :  $M_p = \frac{1}{2} \cdot P \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot L \right)$
- Kolom 4 : Momen Sekunder akibat beban aksial tetap (N) :  $M_s = P \cdot \Delta$  atau (4) = (1).(2)
- Kolom 5 : Momen total =  $M_p + M_s$  atau (5) = (3) + (4)
- Kolom 7 : Data strain gauge beton pada daerah tekan yang merupakan data regangan tekan beton tapi datanya hanya terekam sampai beton spalling.
- Kolom 8 : Data dari LVDT, yaitu perpendekan pada serat tekan alat Yokes ( $\Delta_c$ )
- Kolom 9 : Data dari LVDT, yaitu perpanjangan pada serat tarik alat Yokes ( $\Delta_t$ )
- Kolom 10 : Kurvatur ( $\phi$ ) yang didapat dengan persamaan (3.66) atau  
(10) = [(8) + (9)]/(l.h).
- Kolom 11 : Regangan tekan beton dengan persamaan (3.68)
- Kolom 12, 13, 14, 15 : Regangan tulangan baja dengan persamaan (3.69) dan (3.70)
- Kolom 16 : Daktilitas kurvatur ( $\mu_\phi$ ) yang didapat dengan persamaan (3.71) atau  
(16) = (15)/ $\phi_y$
- Kolom 17 : Keterangan mengenai urutan retak dan spalling.

Pada Tabel ini posisi nilai yang penting diberi tanda cetak tebal, yaitu pada saat retak pertama, leleh pertama, momen maksimum, dan spalling serta saat batas regangan tekan beton.

#### 4.4.1. Analisa Momen-Daktilitas Kurvatur Hasil Uji Eksperimen

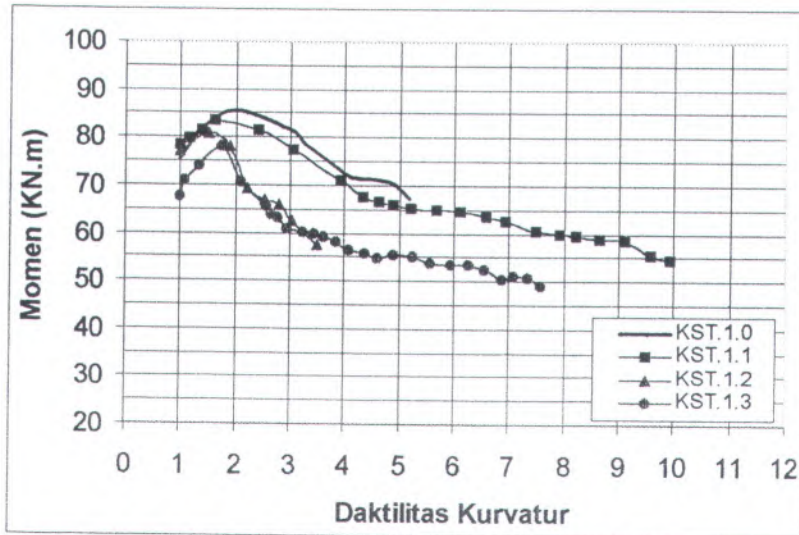
##### a. Kolom dengan sengkang tunggal

Tabel 4.3 memperlihatkan data hubungan antara Momen Maksimum-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal dan grafik hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur diperlihatkan pada Gambar 4.5 serta grafik hubungan  $M/M_{max}$ -Daktilitas Kurvatur diperlihatkan pada Gambar 4.6.

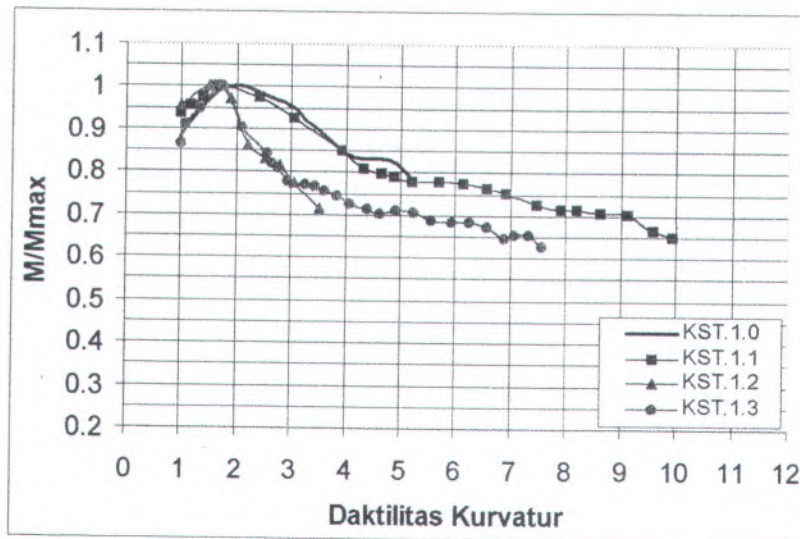
Tabel 4.3 Hubungan Momen Maksimum-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

<b>Kode Benda Uji</b>	<b>Rasio Lubang (%)</b>	<b>Momen Maksimum (KN.m)</b>	<b>Daktilitas Kurvatur (<math>\mu_\phi</math>) Pada 0,80.Mmax</b>
KST.1.0	0	85,53	5,15
KST.1.1	4,52	83,47	4,64
KST.1.2	7,07	80,62	2,90
KST.1.3	11,04	77,97	2,80

Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa kolom dengan sengkang tunggal dengan rasio lubang 0 % atau tanpa lubang mencapai nilai momen maksimum sebesar 85,53 KN.m dan nilai daktilitas kurvatur sebesar  $\mu_\phi = 5,15$  sedangkan pada kolom berlubang, benda uji dengan rasio lubang 4,52 % nilai momen maksimumnya paling besar yaitu 83,47 KN.m dan nilai daktilitas kurvturnya juga paling besar dibandingkan rasio lubang 7,07 % dan 11,04% yaitu sebesar 4,64.



Gambar 4.5 Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal



Gambar 4.6 Hubungan M/Mmax-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

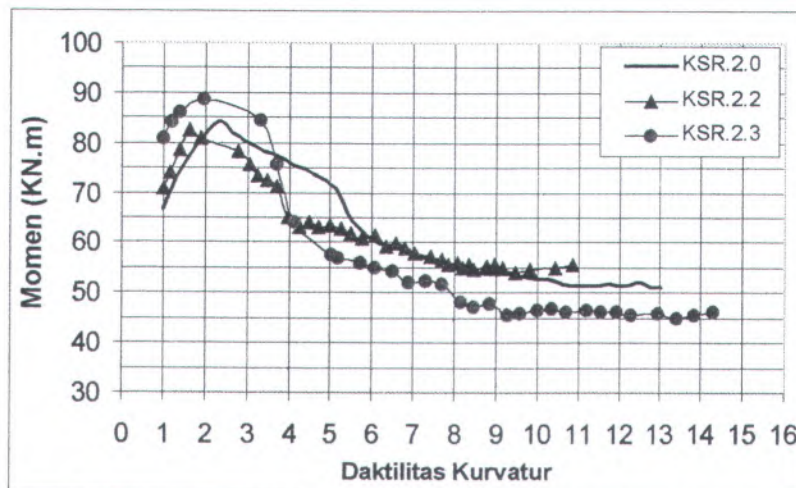
### b. Kolom dengan sengkang rangkap

Tabel 4.4 memperlihatkan data hubungan antara Momen Maksimum-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap dan grafik hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur diperlihatkan pada Gambar 4.7 serta grafik hubungan  $M/M_{max}$ -Daktilitas Kurvatur diperlihatkan pada Gambar 4.8.

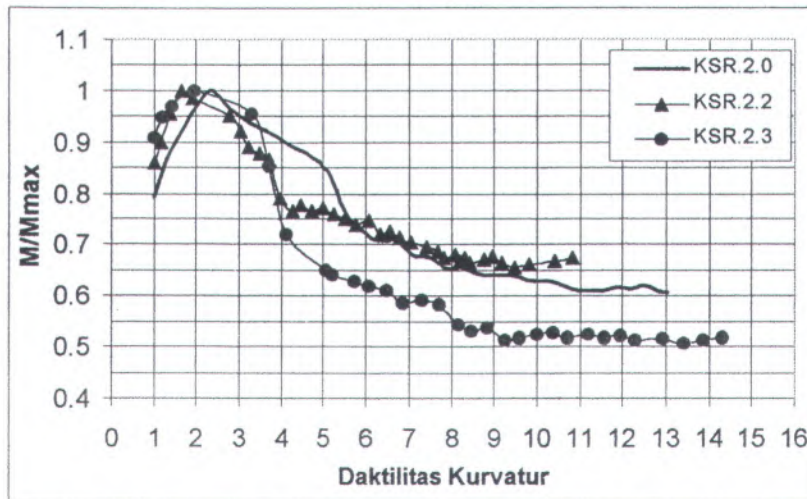
Tabel 4.4 Hubungan Momen Maksimum-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Momen Maksimum (KN.m)	Daktilitas Kurvatur ( $\mu_{\phi}$ ) Pada 0,80.Mmax
KSR.2.0	0	84,02	5,20
KSR.2.2	7,07	82,35	3,80
KSR.2.3	11,04	88,78	3,75

Dari Tabel 4.4 terlihat bahwa kolom dengan sengkang tunggal dengan rasio lubang 0 % atau tanpa lubang mencapai nilai momen maksimum sebesar 84,02 KN.m dan nilai daktilitas kurvatur sebesar  $\mu_{\phi} = 5,2$  sedangkan pada kolom berlubang, benda uji dengan rasio lubang 7,07 % nilai momen maksimumnya paling besar yaitu 82,35 KN.m dan nilai daktilitas kurvturnya juga paling besar dibandingkan rasio lubang 11,04% yaitu sebesar 3,80.



Gambar 4.7 Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap



Gambar 4.8 Hubungan M/Mmax–Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

#### 4.4.2. Analisa Daktilitas Perpindahan (*Displacement Ductility*) Hasil Uji Eksperimen

##### a. Kolom dengan sengkang tunggal

Tabel 4.5 memperlihatkan nilai daktilitas perpindahan dan daktilitas kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal, daktilitas perpindahan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14 dengan  $L = 1630$  mm dan  $L_p = 259,44$  mm.

Tabel 4.5 Hasil analisa Daktilitas Kurvatur-Daktilitas Perpindahan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Kurvatur ( $\times 10^{-5}$ ) (1/mm)		Perpindahan (mm)		$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$	$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$
		$\phi_y$	$\phi_u$	$\Delta_y$	$\Delta_u$		
KST.1.0	0,00	2,50232	12,88695	22,161	62,582	5,15	2,82
KST.1.1	4,52	2,26882	10,52732	20,093	52,238	4,64	2,60
KST.1.2	7,07	3,32459	9,64131	29,444	54,030	2,90	1,84
KST.1.3	11,04	1,80258	5,04722	15,964	28,593	2,80	1,79



Dari Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa pada penampang tanpa lubang daktilitas perpindahannya hanya mencapai sebesar  $\mu_{\Delta} = 2,82$  dan daktilitas kurvturnya sebesar  $\mu_{\phi} = 5,15$ , sedangkan pada penampang berlubang dengan rasio lubang 4,52 % nilai daktilitas perpindahannya hanya mencapai  $\mu_{\Delta} = 2,60$  dan daktilitas kurvturnya sebesar  $\mu_{\phi} = 4,64$ , dan untuk rasio lubang yang lebih dari 4 % nilai daktilitas perpindahannya hanya mencapai  $\mu_{\Delta} = 1,84$  dan daktilitas kurvturnya sebesar  $\mu_{\phi} = 2,90$ , yaitu pada rasio lubang 7,07 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase lubang maka nilai daktilitas kurvatur dan daktilitas perpindahannya akan semakin rendah.

#### b. Kolom dengan sengkang rangkap

Tabel 4.6 memperlihatkan nilai daktilitas perpindahan dan daktilitas kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap, daktilitas perpindahan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14 dengan  $L_c = 1630$  mm dan  $L_p = 259,44$  mm.

Tabel 4.6 Hasil analisa Daktilitas Kurvatur-Daktilitas Perpindahan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Kurvatur ( $\times 10^{-5}$ ) (1/mm)		Perpindahan (mm)		$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y}$	$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$
		$\phi_y$	$\phi_u$	$\Delta_y$	$\Delta_u$		
KSR.2.0	0,00	2,05341	10,67773	18,186	51,754	5,20	2,85
KSR.2.2	7,07	2,55411	9,70562	22,620	50,456	3,80	2,23
KSR.2.3	11,04	2,50000	9,37500	22,141	48,901	3,75	2,21

Dari Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa pada penampang tanpa lubang daktilitas perpindahannya hanya mencapai sebesar  $\mu_{\Delta} = 2,85$  dan daktilitas kurvturnya sebesar  $\mu_{\phi} = 5,20$ , sedangkan untuk rasio lubang yang lebih dari 4 % nilai daktilitas perpindahannya hanya mencapai  $\mu_{\Delta} = 2,23$  dan daktilitas kurvturnya sebesar  $\mu_{\phi} = 3,80$ , yaitu pada rasio lubang 7,07 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase lubang maka nilai daktilitas kurvatur dan daktilitas perpindahannya akan semakin rendah.

Berdasarkan nilai daktilitas perpindahan hasil uji eksperimen kolom tanpa lubang dan kolom yang berlubang dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap memiliki nilai berkisar 1,79 s/d 2,85 yang merupakan tingkat daktilitas perpindahan yang cukup kecil jika harus menahan beban gempa yang besar, nilai daktilitas perpindahan ini jika menurut peraturan SK SNI T-15-1991-03 termasuk antara tingkat daktilitas 2 ( $\mu_{\Delta} = 2,0$ ) dan tingkat daktilitas 3 ( $\mu_{\Delta} = 4,0$ ), sedangkan menurut Priestley termasuk pada daerah daktilitas terbatas ( $1,50 < \mu_{\Delta} \leq 3,50$ ).

#### 4.4.3. Analisa Beban Lentur-Lendutan Hasil Uji Eksperimen

##### a. Kolom dengan sengkang tunggal

Dari Tabel 4.7 dan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa kolom dengan sengkang tunggal memiliki lendutan pada saat retak pertama rata-rata sebesar 4,89 mm, saat beban maksimum sebesar 13,70 mm dan pada saat beton spalling sebesar 16,42 mm sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio lubang maka terjadi penurunan beban pada saat beban maksimum dan spalling.

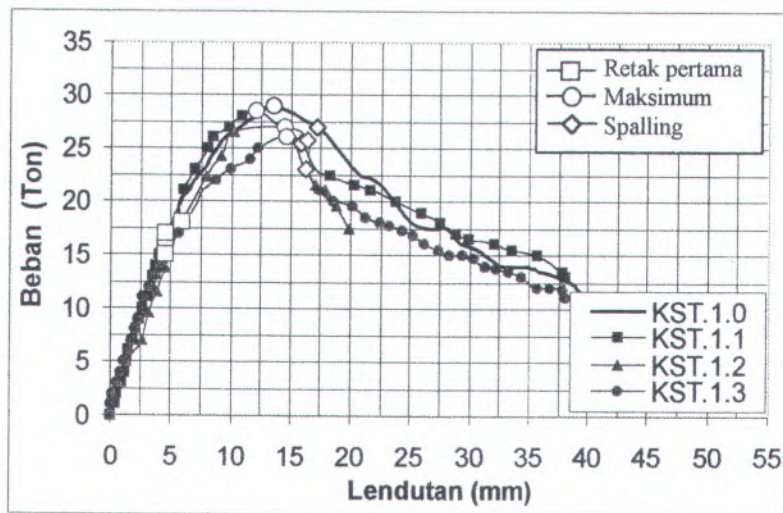
Tabel 4.7 Hubungan Beban lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Retak Pertama		Maksimum		Spalling	
		P (ton)	$\Delta$ (mm)	P (ton)	$\Delta$ (mm)	P (ton)	$\Delta$ (mm)
KST.1.0	0,00	16,00	4,60	29,00	13,50	27,00	17,14
KST.1.1	4,52	17,00	4,53	28,50	12,08	25,50	15,89
KST.1.2	7,07	18,00	5,92	27,00	14,54	25,75	16,43
KST.1.3	11,04	15,00	4,51	26,00	14,68	23,00	16,20
Rata-Rata		16,50	4,89	27,63	13,70	25,31	16,42

Tabel 4.8 Hubungan Beban Lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal pada beban  $P = 20$  ton

Kode benda uji	Sebelum	Sesudah
	Momen Maksimum	Momen Maksimum
	Pada $P = 20$ ton	Pada $P = 20$ ton
	$\Delta$ (mm)	$\Delta$ (mm)
KST.1.0	5,80	24,00
KST.1.1	5,85	23,77
KST.1.2	6,90	18,70
KST.1.3	7,24	18,50

Dari Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa pada beban  $P = 20$  ton sebelum beban maksimum nilai lendutannya semakin meningkat dengan semakin besarnya rasio lubang dan pada beban  $P = 20$  ton sesudah beban maksimum nilai lendutannya semakin menurun dengan semakin besarnya rasio lubang.



Gambar 4.9 Hubungan Beban Lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

### b. Kolom dengan sengkang rangkap

Dari Tabel 4.9 dan Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa kolom dengan sengkang rangkap memiliki lendutan pada saat retak pertama rata-rata sebesar 4,28 mm, saat beban maksimum sebesar 16,15 mm dan pada saat beton spalling sebesar 17,86 mm sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio lubang maka terjadi penurunan beban pada saat beban maksimum dan spalling, kecuali pada benda uji KSR.2.3 yang bebannya meningkat lagi.

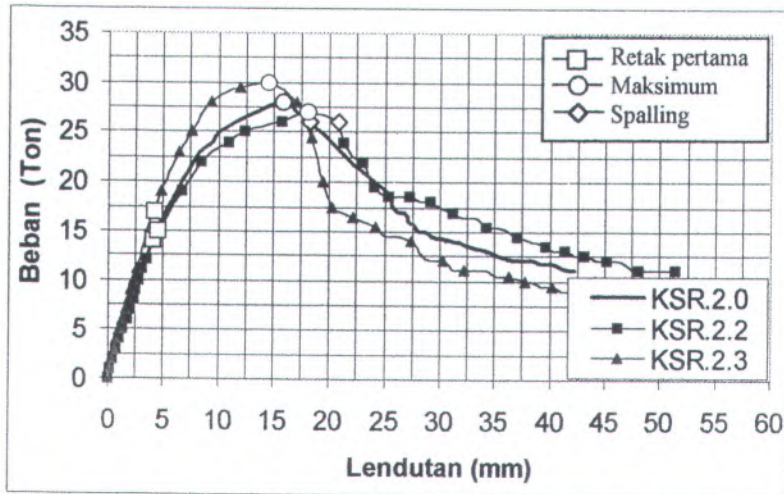
Dari Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa pada beban  $P = 20$  ton sebelum beban maksimum nilai lendutannya semakin meningkat dengan semakin besarnya rasio lubang kecuali pada benda uji KSR.2.3 dan pada beban  $P = 20$  ton sesudah beban maksimum nilai lendutannya semakin menurun dengan semakin besarnya rasio lubang.

Tabel 4.9 Hubungan Beban lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Retak Pertama		Maksimum		Spalling	
		P (ton)	$\Delta$ (mm)	P (ton)	$\Delta$ (mm)	P (ton)	$\Delta$ (mm)
KSR.2.0	0,00	14,00	4,06	28,00	15,90	26,00	18,25
KSR.2.2	7,07	15,00	4,58	27,00	18,00	26,00	20,76
KSR.2.3	11,04	17,00	4,21	30,00	14,56	30,00	14,56
Rata-Rata		15,33	4,28	28,33	16,15	27,33	17,86

Tabel 4.10 Hubungan Beban Lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap pada beban  $P = 20$  ton

Kode benda uji	Sebelum	Sesudah
	Momen Maksimum	Momen Maksimum
	Pada $P = 20$ ton	Pada $P = 20$ ton
	$\Delta$ (mm)	$\Delta$ (mm)
KSR.2.0	6,76	24,00
KSR.2.2	7,25	23,95
KSR.2.3	5,29	19,35



Gambar 4.10 Hubungan Beban Lentur-Lendutan hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

#### 4.4.4. Analisa Beban Lentur-Regangan Tekan Beton Ultimit Hasil Uji Eksperimen

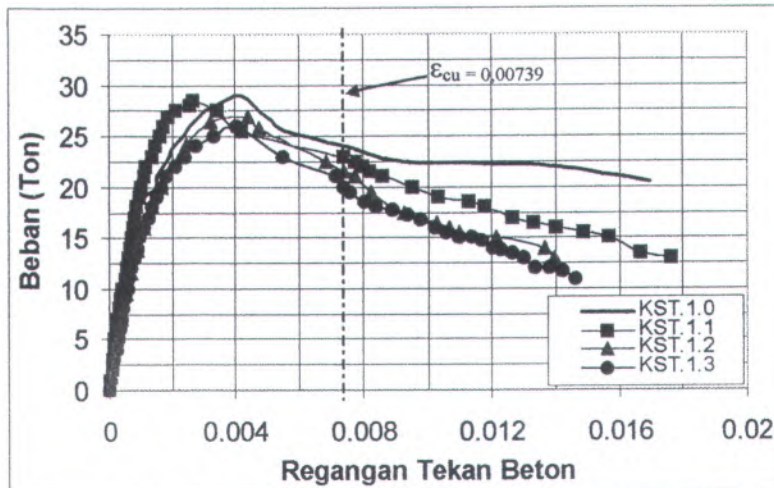
##### a. Kolom dengan sengkang tunggal

Tabel 4.11 memperlihatkan data beban lentur dan batas regangan tekan beton pada kolom dengan sengkang tunggal hasil uji eksperimen, batas regangan tekan beton diambil dari perumusan 2.19, yaitu sebesar  $\epsilon_{cu} = 0,00739$ .

Tabel 4.11 Hubungan Beban lentur-Regangan tekan beton ultimit hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Beban Lentur (Ton)	Beban Akhir (Ton)
		Pada Saat Regangan Tekan Ultimit Beton ( $\epsilon_{cu} = 0,00739$ )	$\epsilon_c > \epsilon_{cu}$
KST.1.0	0,00	24,00 (0,00739)	7,00
KST.1.1	4,52	23,00 (0,00740)	13,00
KST.1.2	7,07	21,50 (0,00739)	13,00
KST.1.3	11,04	20,00 (0,00739)	11,00

Ket : Angka disebelah beban menunjukkan regangan tekan beton



Gambar 4.11 Hubungan Beban lentur-Regangan tekan beton hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

Dari Tabel 4.11 dan Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa beban pada saat batas regangan tekan beton nilainya lebih besar dari beban akhir pengujian, sehingga dapat disimpulkan bahwa benda uji hancur karena batas regangan tekan beton sudah terlampaui.

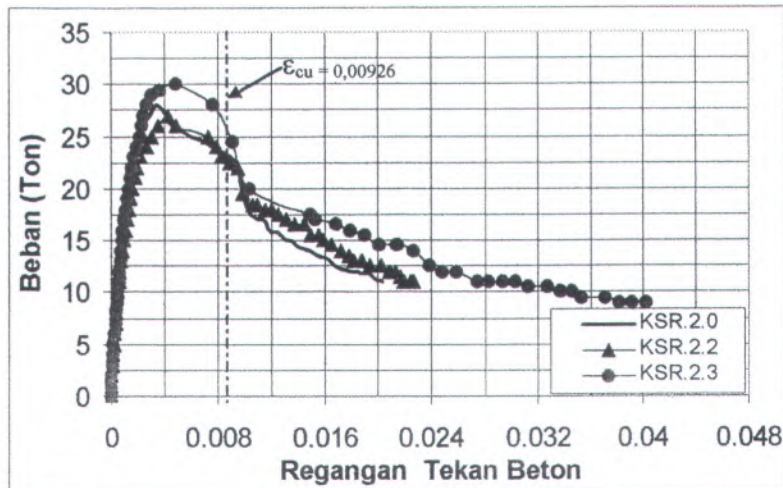
#### b. Kolom dengan sengkang rangkap

Tabel 4.12 memperlihatkan data beban lentur dan batas regangan tekan beton pada kolom dengan sengkang tunggal hasil uji eksperimen, batas regangan tekan beton diambil dari perumusan 2.19, yaitu sebesar  $\epsilon_{cu} = 0,00926$ .

Tabel 4.12 Hubungan Beban lentur-Regangan tekan beton ultimit hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Beban Lentur (Ton)	Beban Akhir (Ton)
		Pada Saat Regangan Tekan Ultimit Beton ( $\epsilon_{cu} = 0,00926$ )	$\epsilon_c > \epsilon_{cu}$
KSR.2.0	0,00	22,00 (0,00950)	11,00
KSR.2.2	7,07	22,00 (0,00939)	11,00
KSR.2.3	11,04	20,00 (0,01024)	9,00

Ket : Angka disebelah beban menunjukkan regangan tekan beton



Gambar 4.12 Hubungan Beban lentur-Regangan tekan beton hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

Dari Tabel 4.12 dan Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa beban pada saat batas regangan tekan beton nilainya lebih besar dari beban akhir pengujian, sehingga dapat disimpulkan bahwa benda uji hancur karena batas regangan tekan beton sudah terlampaui.

#### 4.4.5. Analisa Momen Maksimum-Rasio Lubang Hasil Uji Eksperimen

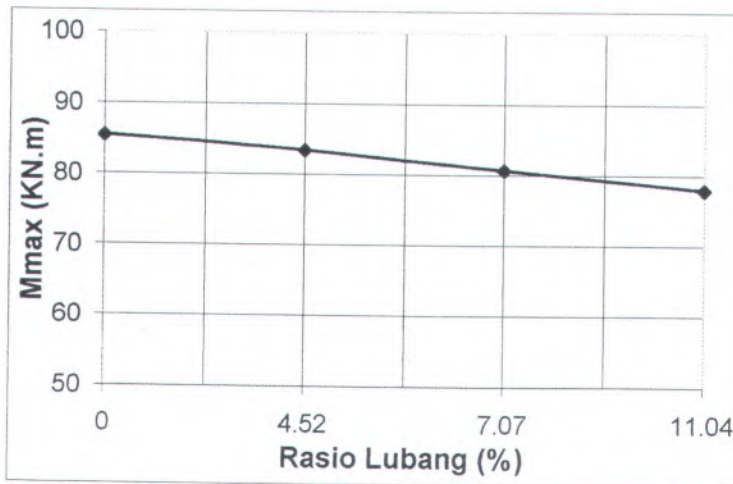
##### a. Kolom dengan sengkang tunggal

Tabel 4.13 dan Gambar 4.13 memperlihatkan hubungan  $M_{max}$ -Rasio Lubang hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal.

Berdasarkan hasil uji eksperimen dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio lubang maka nilai momen maksimumnya akan semakin menurun sampai maksimum sebesar 9,0 %.

Tabel 4.13 Hubungan  $M_{max}$ -Rasio Lubang hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Momen Maksimum (KN.m)	$M_{max}$
			$M_{max(KST.1.0)}$
KST.1.0	0,00	85,53	1,00
KST.1.1	4,52	83,47	0,98
KST.1.2	7,07	80,62	0,94
KST.1.3	11,04	77,97	0,91



Gambar 4.13 Hubungan Mmax-Rasio Lubang hasil uji eksperimen pada kolom dengan sengkang tunggal

#### b. Kolom dengan sengkang rangkap

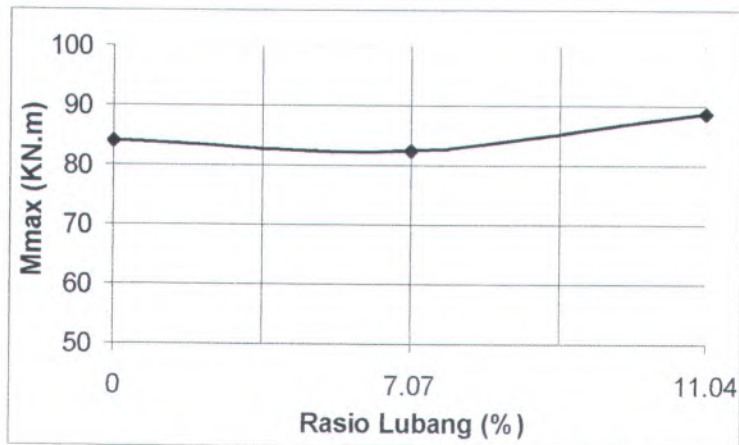
Tabel 4.14 dan Gambar 4.14 memperlihatkan hubungan Mmax-Rasio Lubang hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap.

Berdasarkan hasil uji eksperimen dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio lubang maka nilai momen maksimumnya semakin menurun sampai maksimum sebesar 2,0 %, kecuali benda uji KSR.2.3 nilai momen maksimumnya lebih besar daripada benda uji KSR.2.0 dan KSR.2.2.

Tabel 4.14 Hubungan Mmax-Rasio Lubang hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Momen Maksimum (KN.m)	$\frac{M_{max}}{M_{max}(KSR.2.0)}$
KSR 2.0	0	84,02	1,00
KSR 2.2	7,07	82,35	0,98
KSR 2.3	11,04	88,78	1,06





Gambar 4.14 Hubungan Mmax-Rasio Lubang hasil uji eksperimen pada kolom dengan sengkang rangkap

#### 4.4.6. Analisa Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur Hasil Uji Eksperimen

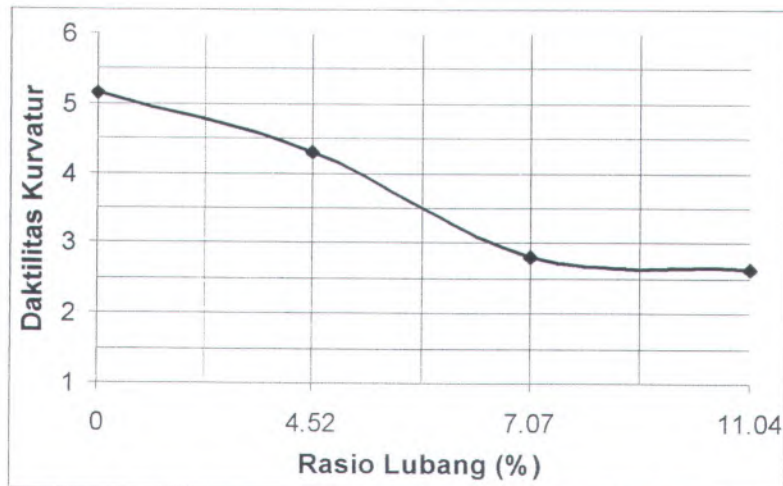
##### a. Kolom dengan sengkang tunggal

Tabel 4.15 dan Gambar 4.15 memperlihatkan hubungan antara Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal.

Berdasarkan hasil uji eksperimen dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio lubang maka nilai daktilitas kurvturnya akan semakin menurun sampai maksimum sebesar 46 %.

Tabel 4.15 Hubungan Rasio Lubang- Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Daktilitas Kurvatur ( $\mu_\phi$ ) Pada 0,80.Mmax	$\frac{\mu_\phi}{\mu_\phi (KST.1.0)}$
KST 1.0	0	5,15	1,00
KST 1.1	4,52	4,64	0,90
KST 1.2	7,07	2,90	0,56
KST 1.3	11,04	2,80	0,54



Gambar 4.15 Hubungan Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal

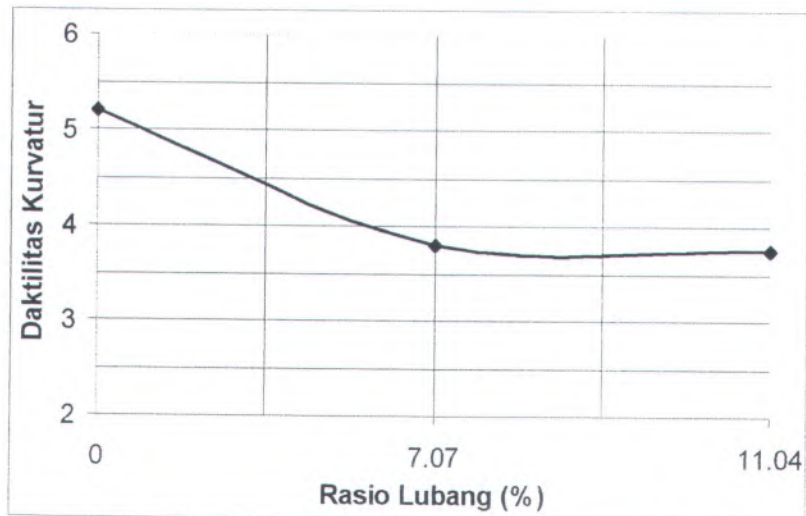
#### b. Kolom dengan sengkang rangkap

Tabel 4.16 dan Gambar 4.16 memperlihatkan hubungan antara Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap.

Berdasarkan hasil uji eksperimen dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio lubang maka nilai daktilitas kurvturnya akan semakin menurun sampai maksimum sebesar 28 %.

Tabel 4.16 Hubungan Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

Kode Benda Uji	Rasio Lubang (%)	Daktilitas Kurvatur ( $\mu_\varphi$ ) Pada 0,80.Mmax	$\frac{\mu_\varphi}{\mu_\varphi (KSR.2.0)}$
KSR 2.0	0,00	5,20	1,00
KSR 2.2	7,07	3,80	0,73
KSR 2.3	11,04	3,75	0,72



Gambar 4.16 Hubungan Rasio Lubang-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang rangkap

#### 4.5. Perbandingan Momen-Daktilitas Kurvatur Hasil Uji Eksperimen Kolom Dengan Sengkang Tunggal dan Sengkang Rangkap

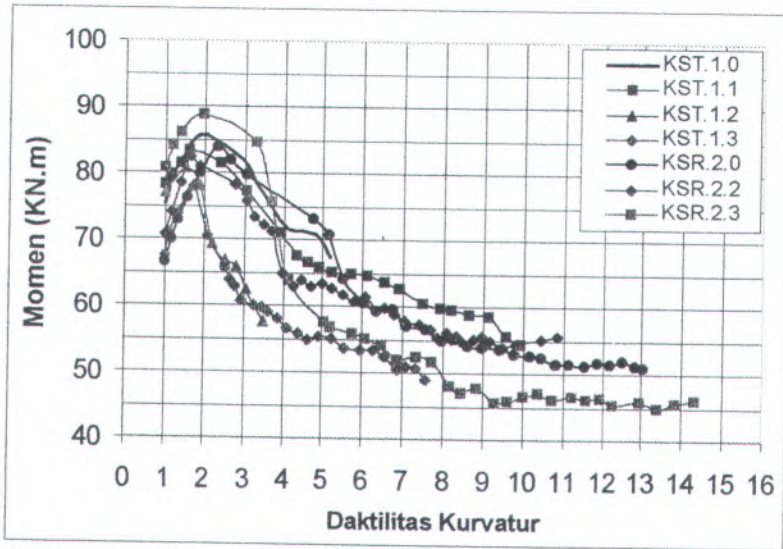
Dari Tabel 4.17 dapat disimpulkan bahwa kolom dengan rasio lubang 0 % pada sengkang rangkap terjadi penurunan nilai momen maksimumnya sebesar 2,0 % dan nilai daktilitas kurvturnya meningkat sebesar 1,0 % dibandingkan kolom dengan sengkang tunggal. Sedangkan kolom dengan rasio lubang 7,07 % dan 11,04 % pada sengkang rangkap terjadi peningkatan nilai momen maksimumnya sebesar 2,0 % dan 14 % dan nilai daktilitas kurvturnya meningkat sebesar 31 % dan 34 % dibandingkan kolom dengan sengkang tunggal.

Tabel 4.17 Perbandingan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen kolom dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap

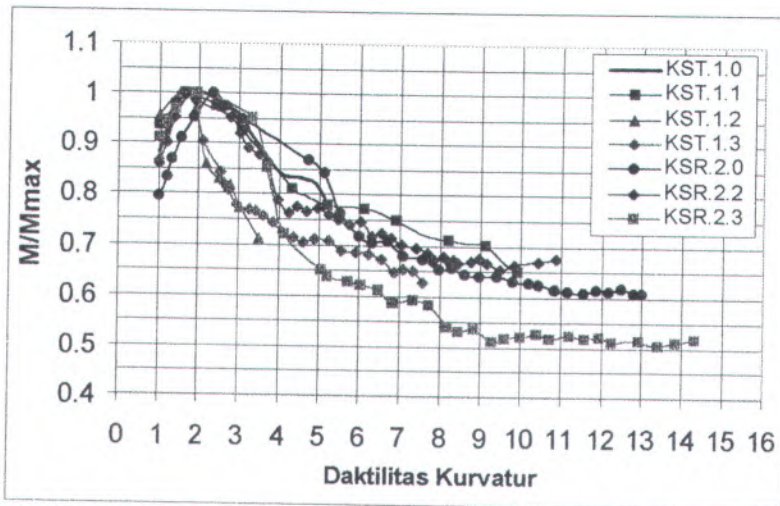
Rasio Lubang (%)	Momen Maksimum (KN.m)		$\frac{M_{max(KSR)}}{M_{max(KST)}}$	Daktilitas Kurvatur ( $\mu_\phi$ ) Pada 0,80.Mmax		$\frac{\mu_\phi(KSR)}{\mu_\phi(KST)}$
	Sengkang Tunggal	Sengkang Rangkap		Sengkang Tunggal	Sengkang Rangkap	
0	85,53	84,02	0,98	5,15	5,20	1,01
4,52	83,47	-	-	4,64	-	-
7,07	80,62	82,35	1,02	2,90	3,80	1,31
11,04	77,97	88,78	1,14	2,80	3,75	1,34

Berdasarkan nilai daktilitas kurvatur yang diperoleh ternyata kolom tanpa lubang dan kolom dengan persentase lubang 4,52 % yang menggunakan sengkang tunggal dan sengkang rangkap telah memenuhi syarat daktilitas untuk beban gravitasi menurut ACI 318-95, dan ditemukan bahwa untuk kolom dengan persentase lubang lebih dari 4 % nilai daktilitas kurvturnya kurang dari 4 sehingga tidak memenuhi syarat daktilitas untuk beban gravitasi menurut ACI 318-95.

Kurva gabungan Momen-Daktilitas Kurvatur semua benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.17 dan grafik gabungan Momen Maksimum-Daktilitas Kurvatur dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.17 Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen untuk seluruh benda uji.



Gambar 4.18 Hubungan M/Mmax-Daktilitas Kurvatur hasil uji eksperimen untuk seluruh benda uji.

#### 4.6. Perbandingan Momen-Daktilitas Kurvatur Hasil Analisa Teoritis dan Hasil Uji Eksperimen

Hasil perhitungan lengkap analisa teoritis dan hasil analisa data eksperimen dapat dilihat pada Lampiran IV dan Lampiran V, kemudian disimpulkan di Tabel 4.18 dan Gambar 4.19 s/d 4.32.

Prosedur untuk mendapatkan nilai kurvatur dari hasil eksperimen telah dijelaskan pada Sub Bab 3.6 dengan menggunakan persamaan 3.65 dan daktilitas kurvatur didapat dari persamaan 3.71. Sedangkan prosedur untuk mendapatkan nilai kurvatur dan daktilitas kurvatur dari hasil analisa teoritis telah dijelaskan pada Sub Bab 3.4.

Pada proses perhitungan analisa teoritis batas regangan tekan beton ( $\epsilon_{cu}$ ) ditentukan dengan persamaan 2.19 dan didapat hasil bahwa batas regangan tekan beton pada kolom dengan sengkang tunggal adalah sebesar  $\epsilon_{cu} = 0,00739$ , dan kolom dengan sengkang rangkap sebesar  $\epsilon_{cu} = 0,00926$ .

Hasil perhitungan lengkap analisa teoritis dapat dilihat pada Lampiran IV dengan penjelasan sebagai berikut :

- Kolom 1 : Regangan tekan beton yang telah ditentukan terlebih dulu mulai dari  $\epsilon_c = 0,001$  s/d batas regangan tekan beton.
- Kolom 2 : Garis netral penampang yang ditentukan terlebih dahulu dan setelah syarat kesetimbangan terpenuhi maka didapat nilai garis netral yang sebenarnya.
- Kolom 3 : Regangan beton pada sisi tepi beton yang berjarak  $2d_s + \frac{1}{2} d_s$  dari serat tekan beton yang didapat dari persamaan 3.9.
- Kolom 4,5,6,7 : Regangan tulangan baja yang didapat dari persamaan 3.49 atau 3.50.
- Kolom 8 : Regangan tepi lubang pada bagian daerah tekan yang didapat dari persamaan 3.51 atau 3.52.
- Kolom 9,10,11,12 : Tegangan tulangan baja yang didapat dari persamaan 2.22 atau 2.26.
- Kolom 13,14,15,16 : Kekuatan tulangan baja yang didapat dari persamaan 3.53.
- Kolom 17 : Gaya tekan beton yang rumusnya tergantung dari posisi garis netral ( $c$ ) dan regangan tekan beton (lihat Sub Bab 3.4 langkah f)

Kolom 18 : Titik tangkap gaya tekan beton terhadap titik pusat penampang yang rumusnya tergantung dari posisi  $c$  dan regangan tekan beton (lihat Sub Bab 3.4 langkah f)

Kolom 19 : Momen lentur kolom yang didapat dari persamaan 3.60 s/d 3.64.

Kolom 20 : Kurvatur kolom yang didapat dari persamaan 3.2.

Kolom 21 : Perbandingan Momen dan Momen maksimum.

Kolom 22 : Daktilitas Kurvatur kolom yang didapat dari persamaan 2.13.

Kolom 23 : Keterangan letak garis netral terhadap serat tekan beton.

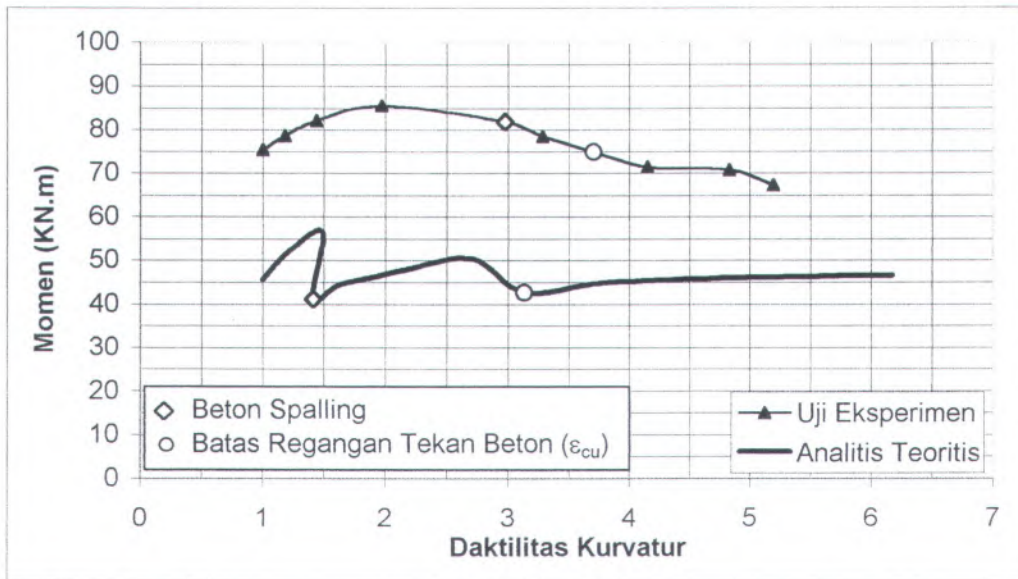
Kolom 24 : Keterangan zone kurva, zone I pada saat  $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{o_1}$ , zone II pada saat  $\epsilon_{o_1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{o_2}$ , zone III pada saat  $\epsilon_c \geq \epsilon_{o_2}$ .

Pada Tabel ini posisi nilai yang penting diberi tanda cetak tebal, yaitu pada saat regangan leleh baja pertama, momen maksimum, spalling dan batas regangan tekan beton.

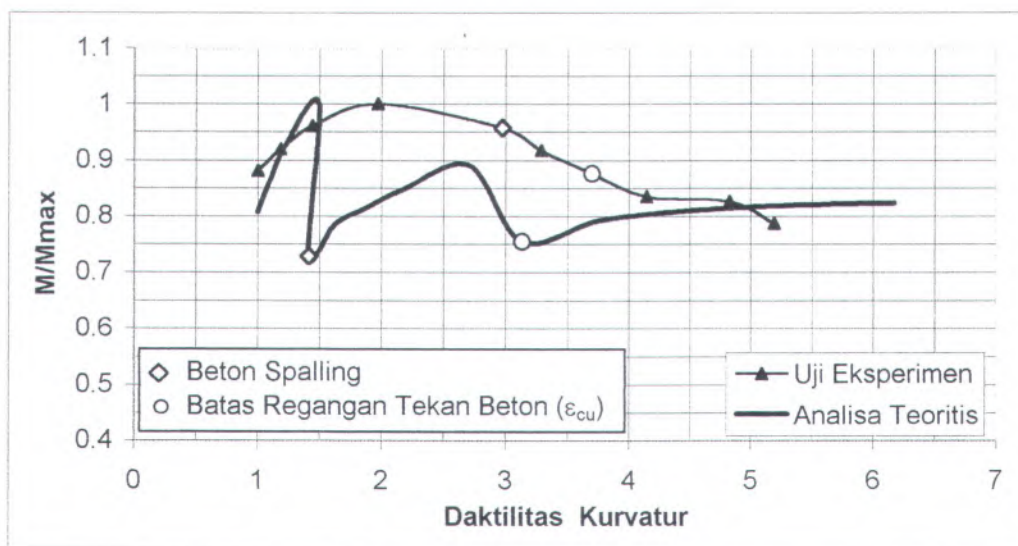
Tabel 4.18 Hasil pengolahan data analisa teoritis dan hasil uji eksperimen.

Kode Benda Uji	$\rho_s$	Analisa Teoritis		Analisa Uji Eksperimen		$\frac{M_{max}(eksp)}{M_{max}(teori)}$	$\frac{\mu_{\phi}(eksp)}{\mu_{\phi}(teori)}$
		<b>Mmax (KN.m)</b>	$\mu_{\phi}$	<b>Mmax (KN.m)</b>	$\mu_{\phi}$		
KST.1.0	0,0184	56,538	2,85	85,53	5,15	1,51	1,81
KST.1.1	0,0184	58,091	2,85	83,47	4,64	1,44	1,63
KST.1.2	0,0184	58,590	2,85	80,62	2,90	1,38	1,02
KST.1.3	0,0184	59,136	2,85	77,97	2,80	1,32	0,98
KSR.2.0	0,0220	59,204	2,90	84,02	5,20	1,42	1,79
KSR.2.2	0,0220	60,767	2,90	82,35	3,80	1,36	1,31
KSR.2.3	0,0220	61,296	2,90	88,78	3,75	1,45	1,29

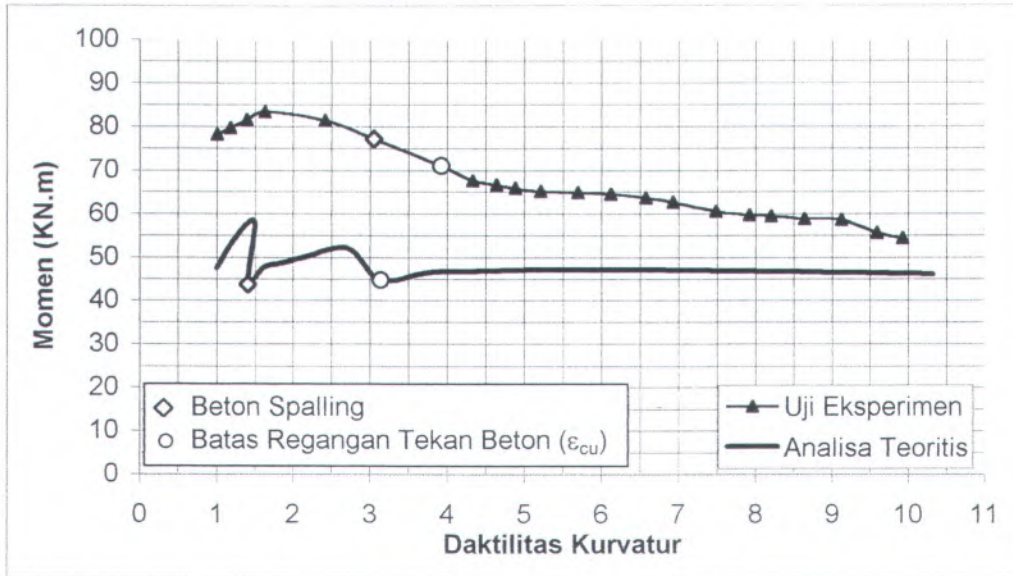
Dari Tabel 4.18 dapat disimpulkan bahwa pada kolom dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap nilai momen maksimum hasil pengujian eksperimen lebih besar dari nilai momen maksimum teoritis, yaitu berbeda sebesar 51 % dan 45 % sedangkan nilai daktilitas kurvatur hasil uji eksperimen untuk kolom dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap juga lebih besar dari hasil analisa teoritis, yaitu berbeda sebesar 81 %



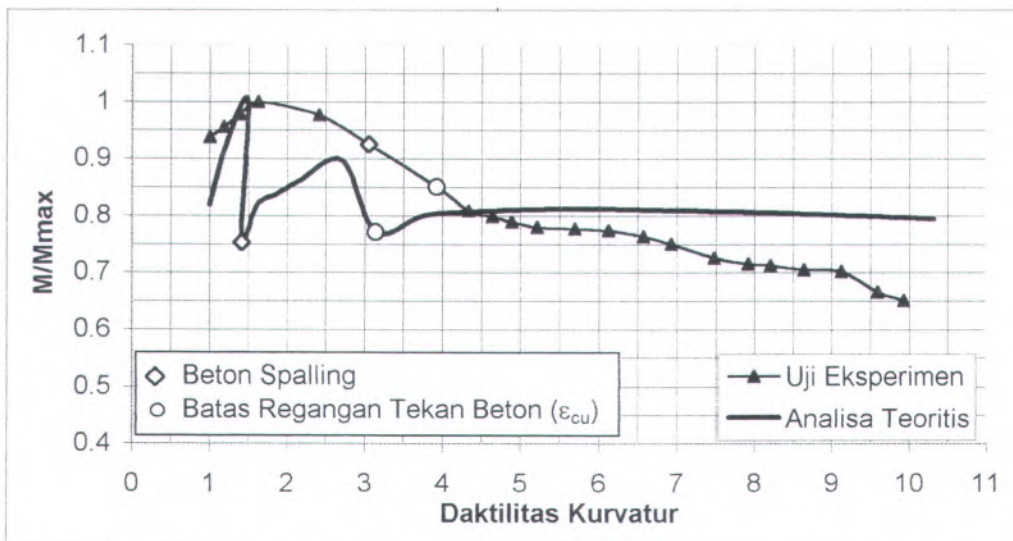
Gambar 4.19 Hubungan Momen-Daktalitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KST.1.0



Gambar 4.20 Hubungan M/Mmax-Daktalitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KST.1.0

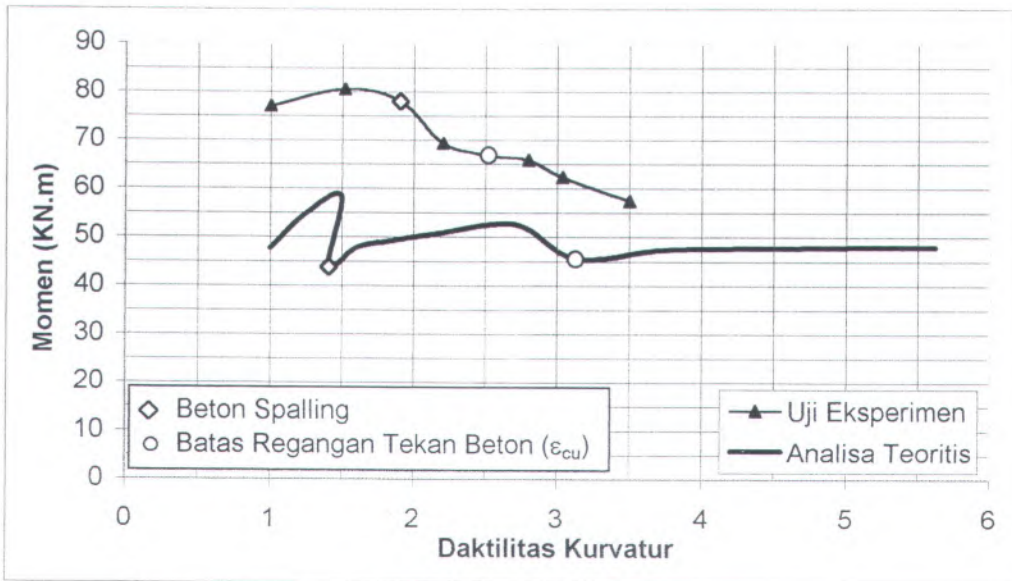


Gambar 4.21 Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KST.1.1

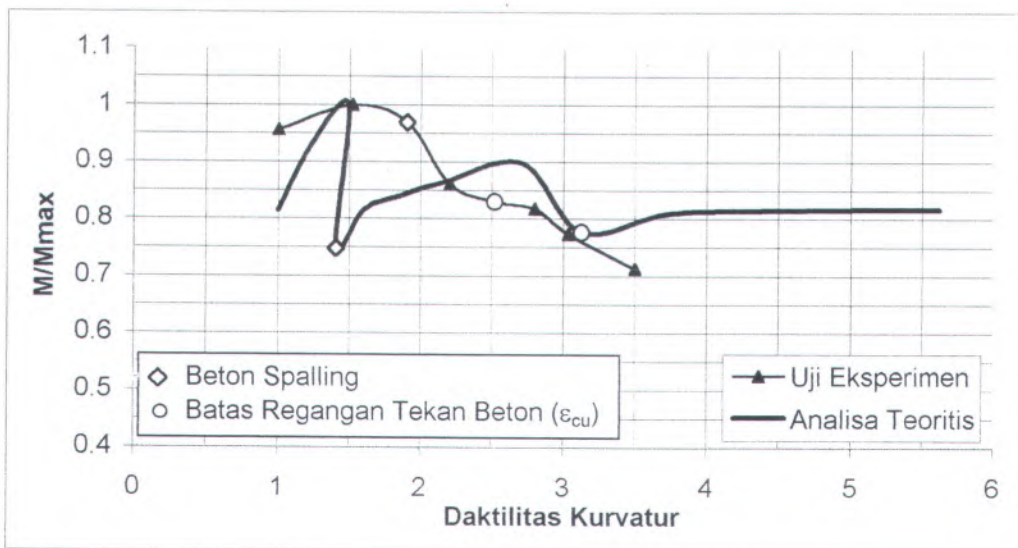


Gambar 4.22 Hubungan M/Mmax-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KST.1.1

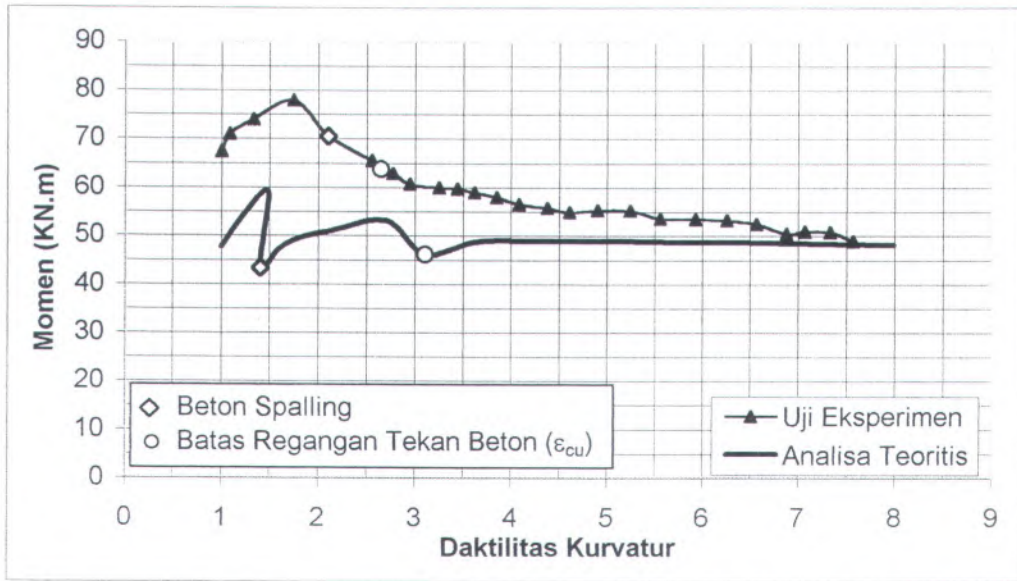




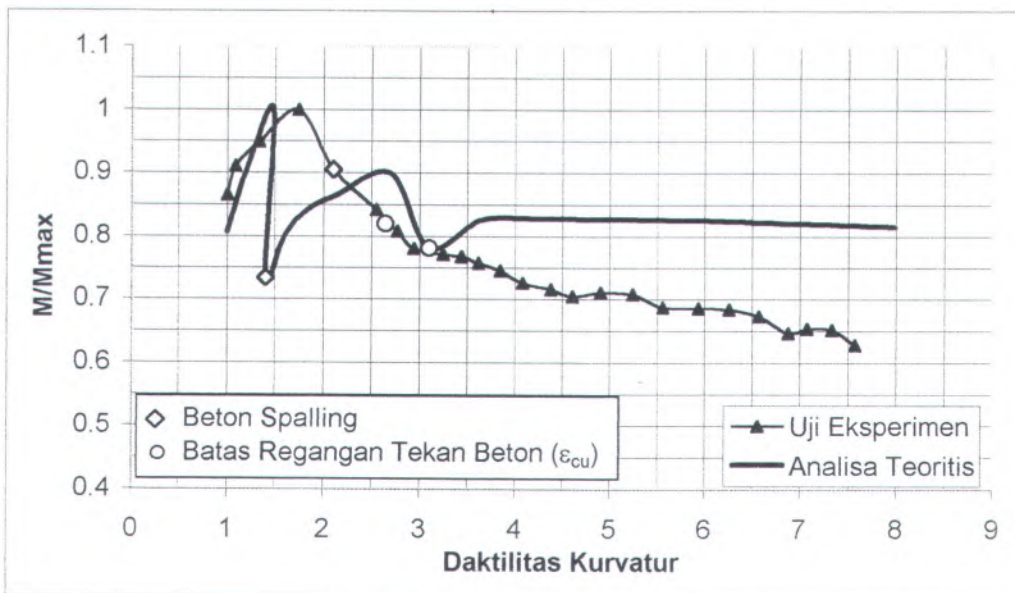
Gambar 4.23 Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KST.1.2



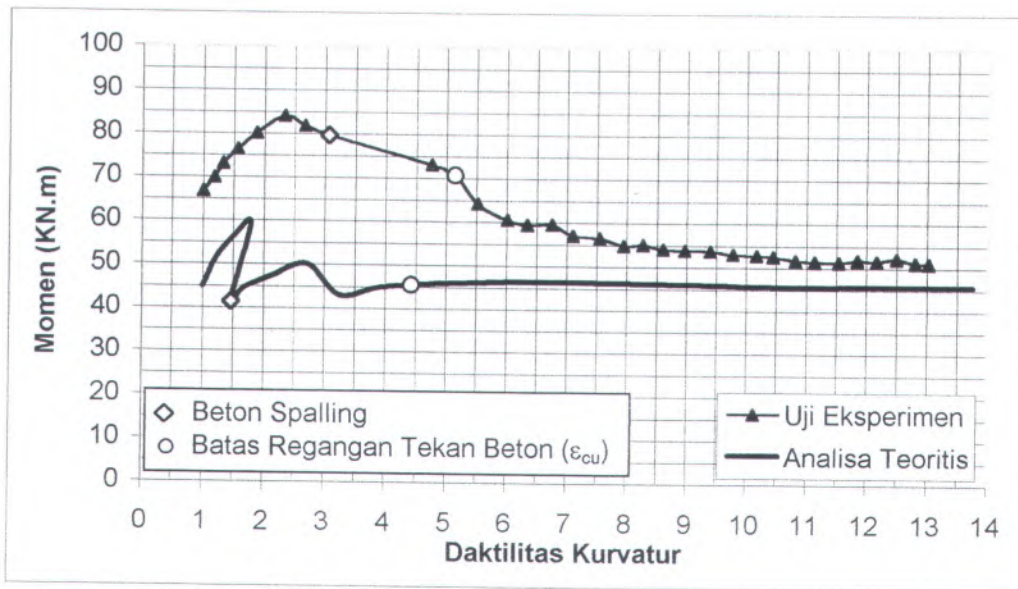
Gambar 4.24 Hubungan M/Mmax-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KST.1.2



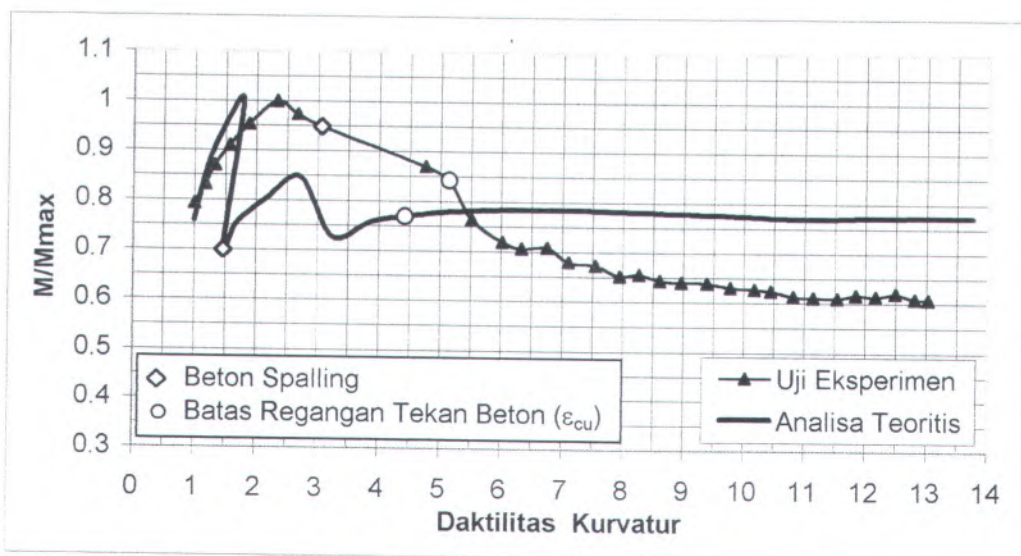
Gambar 4.25 Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KST.1.3



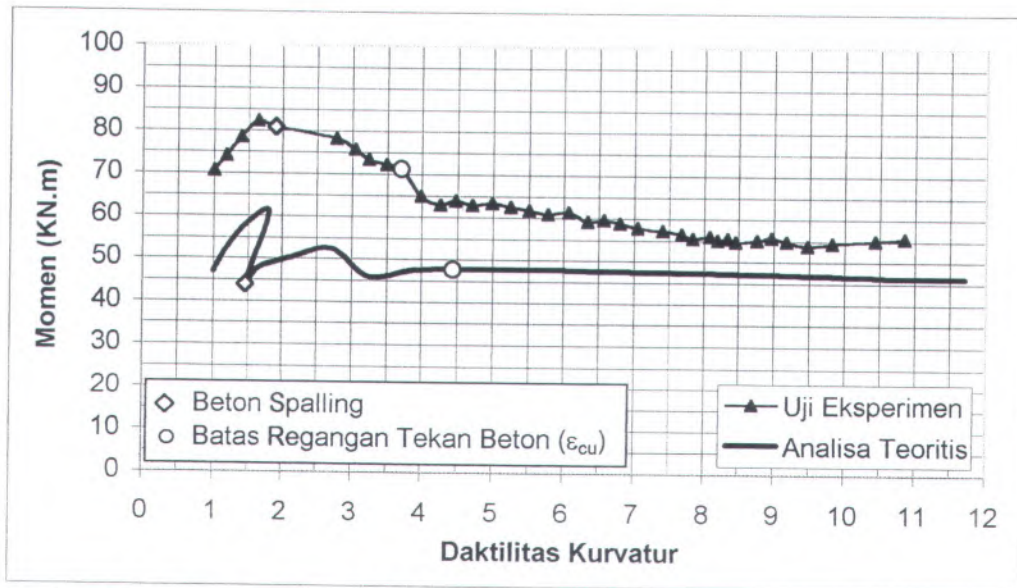
Gambar 4.26 Hubungan M/Mmax-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KST.1.3



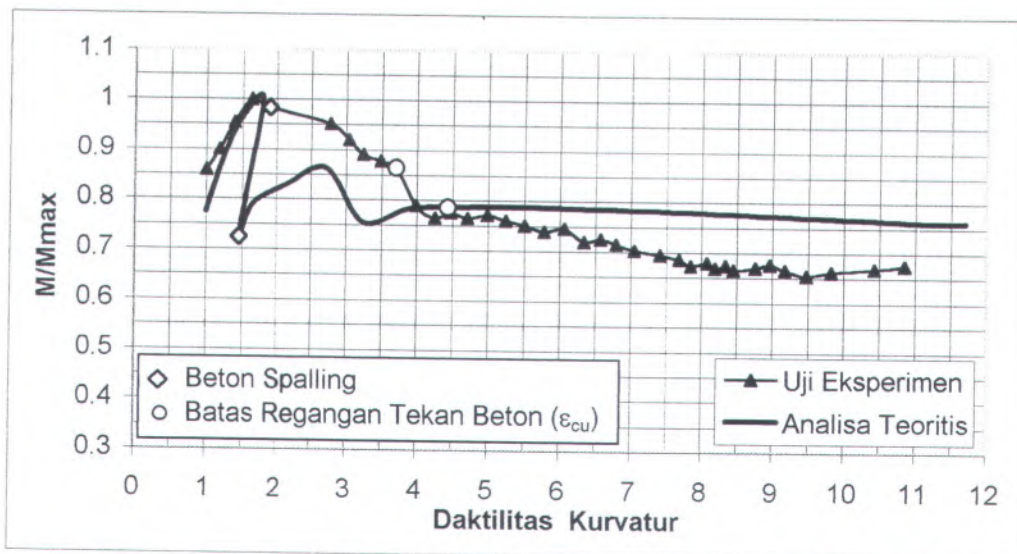
Gambar 4.27 Hubungan Momen-Duktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.0



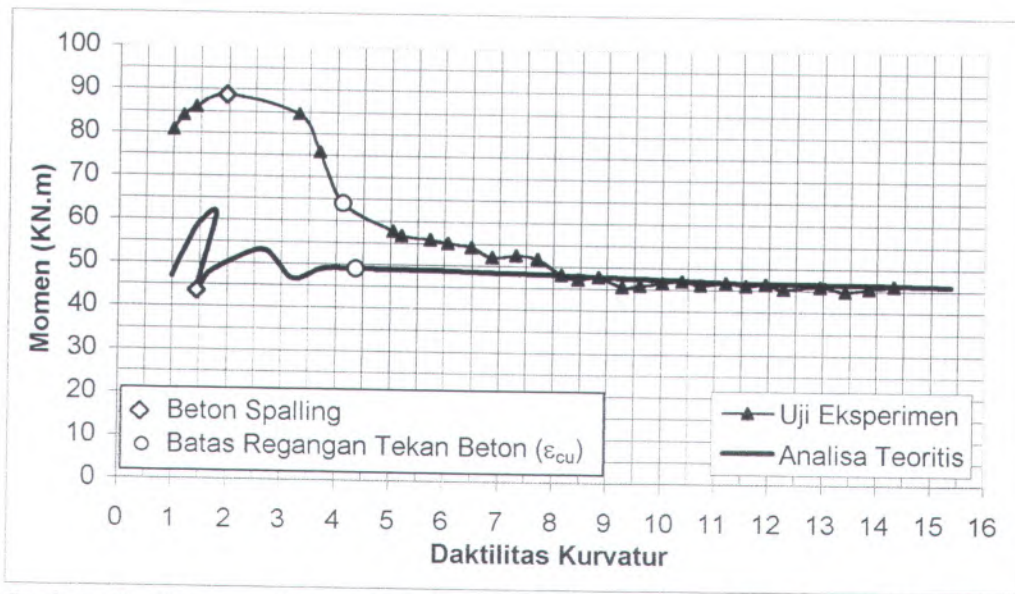
Gambar 4.28 Hubungan M/Mmax-Duktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.0



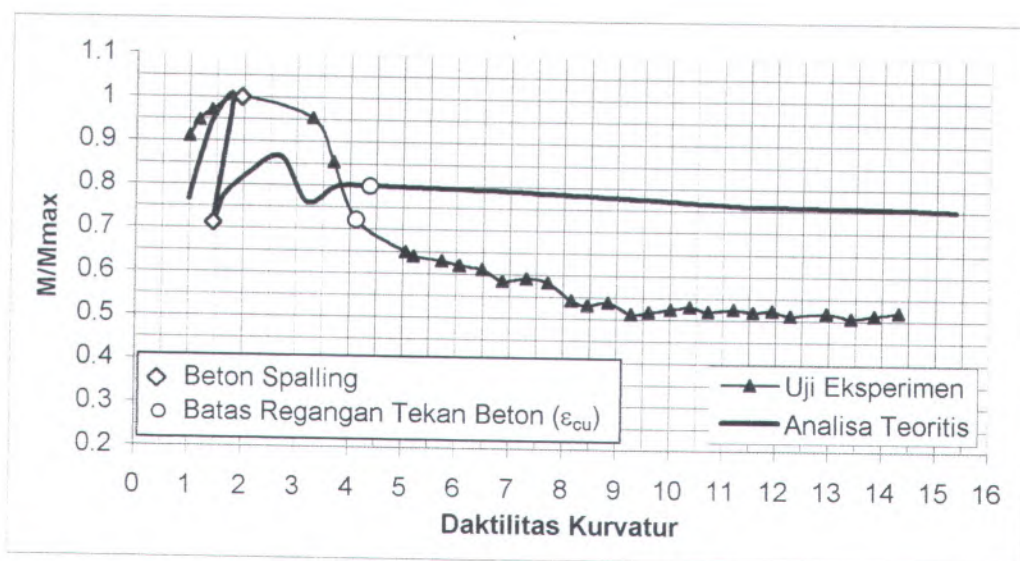
Gambar 4.29 Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.2



Gambar 4.30 Hubungan  $M/M_{max}$ -Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.2



Gambar 4.31 Hubungan Momen-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.3



Gambar 4.32 Hubungan M/Mmax-Daktilitas Kurvatur hasil analisa teoritis dan uji eksperimen kolom KSR.2.3

#### 4.7. Perbandingan Kekuatan Lentur Hasil Analisa Teoritis, ACI 318-95 dan Uji Eksperimen

Hasil perhitungan lengkap analisa teoritis dengan kurva tegangan-regangan beton Azizinamini, dkk., ACI 318-95 dan hasil uji eksperimen dapat dilihat pada Lampiran IV, Lampiran VII dan Lampiran V, kemudian disimpulkan di Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Perbandingan Momen Lentur Maksimum Analisa Teoritis, ACI 318-95 dan Hasil Uji Eksperimen

Kode Benda Uji	Rasio Lubang %	Momen Maksimum (KN.m)			$M_{\max_{\text{Eksp.}}}$	$M_{\max_{\text{Eksp.}}}$
		Analisa Teoritis	ACI 318-95	Eksperimen	$M_{\max_{\text{Analitis}}}$	$M_{\max_{\text{ACI-95}}}$
KST.1.0	0,00	56,538	65,186	85,530	1,51	1,31
KST.1.1	4,52	58,091	65,186	83,470	1,44	1,28
KST.1.2	7,07	58,590	65,186	80,620	1,38	1,24
KST.1.3	11,04	59,136	65,186	77,970	1,32	1,20
KSR.2.0	0,00	59,204	65,186	84,020	1,42	1,29
KSR.2.2	7,07	60,767	65,186	82,350	1,36	1,26
KSR.2.3	11,04	61,296	65,186	88,780	1,45	1,36

Dari Tabel 4.19 dapat disimpulkan bahwa momen lentur yang didapat dari perhitungan analisa teoritis dan menurut ACI 318-95 nilainya lebih kecil daripada momen lentur hasil uji eksperimen, ini berarti bahwa kapasitas momen lentur hasil analisa teoritis dan ACI 318-95 berada pada sisi yang konservatif atau cukup aman digunakan untuk perhitungan kapasitas momen pada kolom berlubang.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Penelitian perilaku kolom segiempat berlubang yang memakai beton mutu tinggi (60 MPa) dan dikekang dengan sengkang tunggal ( $\rho_s = 0,0184$ ) dan sengkang rangkap ( $\rho_s = 0,0220$ ) serta dibebani beban aksial tetap sebesar 50 ton atau  $0,21 \cdot f_c \cdot A_g$  dan beban lentur menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar persentase lubang maka kekuatan lentur, daktilitas perpindahan dan daktilitas kurvturnya akan semakin rendah pada kolom dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap.
2. Pada kolom tanpa lubang dengan sengkang tunggal dan sengkang rangkap, nilai daktilitas kurvturnya lebih dari 4, sehingga memenuhi syarat daktilitas untuk beban gravitasi menurut ACI 318-95.
3. Pada kolom dengan persentase lubang 4,52 % yang menggunakan sengkang tunggal, nilai daktilitas kurvturnya lebih dari 4, sehingga memenuhi syarat daktilitas untuk beban gravitasi menurut ACI 318-95. Menurut ACI 318-95 dengan jarak sengkang  $\phi 10-100$  memberikan nilai  $\rho_s = 0,0209$ .
4. Pada kolom dengan persentase lubang yang lebih dari 4 % yang menggunakan sengkang tunggal dan sengkang rangkap, nilai daktilitas kurvturnya kurang dari 4 sehingga tidak memenuhi syarat daktilitas untuk beban gravitasi menurut ACI 318-95.
5. Penggunaan sengkang rangkap pada kolom yang berlubang dapat meningkatkan kekuatan lentur maksimum sebesar 14 % dan dapat meningkatkan daktilitas kurvatur sebesar 34 % dibandingkan dengan kolom dengan sengkang tunggal.
6. Kekuatan lentur hasil perhitungan analisa teoritis dan menurut ACI 318-95 nilainya lebih kecil daripada kekuatan lentur hasil uji eksperimen, ini berarti bahwa kekuatan

lentur hasil analisa teoritis dan ACI 318-95 berada pada sisi yang konservatif atau cukup aman digunakan untuk perhitungan kapasitas lentur pada kolom berlubang.

7. Masih belum ditemukan penyebab tidak samanya nilai momen maksimum hasil analisa teoritis dengan hasil uji eksperimen.

## 5.2. Saran

Setelah menyimpulkan hasil penelitian maka peneliti menyarankan:

1. Validitas hasil penelitian ini perlu dilengkapi penelitian lanjutan dengan nilai  $\rho_s$  dan  $\frac{P}{f_c' \cdot A_g}$  yang lain.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai kurva tegangan-regangan beton mutu tinggi yang terkekang pada penampang berlubang yang dapat digunakan untuk analisa teoritis penampang kolom berlubang yang terkekang.



## DAFTAR PUSTAKA

1. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318 M-95) And Commentary (ACI 318 RM-95)* , American Concrete Institute, 1995.
2. Azizinamini, A.; Corley, W.G.; Johal, L.S.P., *Effect of Transverse Reinforcement on Seismic Performance of Columns*, ACI Structural Journal, V. 89, no. 4, July-August 1992, pp. 442 - 450.
3. Azizinamini, A.; Kuska, S.S.B.; Brungardt, P., Hatfiled E., *Seismic Behaviour of Square High Strength Concrete Columns*, ACI Structural Journal, V. 91, no. 3, May-June 1994, pp. 336 - 345.
4. Claeson, C.; Gylltoft, K.; Grauers, M., *Experiments And Numerical Analyses of Reinforced High Strength Concrete Columns*, Proceedings Utilization of High Strength/ High Performance Concrete, V. 3, May 1996, pp. 797 – 806.
5. Cusson, D.; Paultre, P.; Member, ASCE, *Stress Strain Model for Confined High Strength Concrete*, Journal of Structural Engineering, V. 121, no. 3, March, 1995, pp. 468 - 476.
6. Mansur, M.A.; Chin, M.S.; Wee, T.H., *Stress-Strain Relationship of Confined High Strength Concrete Plain and Fiber Concrete*, Journal of Material in Civil Engineering, V. 9, no. 4, November, 1997, pp. 171 - 178.
7. Park, R.; Paulay, T., *Reinforced Concrete Structure*, John Wiley & Sons, 1974.
8. Paulay, T.; Priestley, M. J. N, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, 1991.
9. Pendyala R.; Mendis P.; Patnaikuni I.; *Full Range Behavior of High-Strength Concrete Flexural Members: Comparison of Ductility Parameters of High and Normal-Strength Concrete Members*, ACI Structural Journal, V. 93, no. 1, January – February, 1996, pp. 30 - 35.
10. Sakai, K.; Sheikh, S.A.; *What Do We Know about Confinement in Reinforced Concrete Columns ? (A Critical Review of Previous Work and Code Provisions)* , ACI Structural Journal, V. 86, no. 2, March-April, 1988, pp. 192 - 207.

11. Sheikh, S.A.; Yeh, C.C., *Flexural Behaviour of Confined Columns*, ACI Journal, V. 83, May-June, 1986, pp. 389 - 404.
12. SK SNI T-15-1991-03, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung, 1991.
13. Supriyadi, *Pengaruh Lubang dan Ratio Tulangan Pada Kuat Batas Kolom Beton Berlubang*, Tesis S2 Fakultas Teknik Sipil UGM Yogyakarta, 1997.
14. Yong, Y.K.; Nour, M.G.; Nawy, E.G., *Behaviour of Laterally Confined High Strength Concrete Under Axial Loads*, Journal of Structural Engineering, V. 114, no. 2, February, 1988.

**LAMPIRAN I**  
**HASIL UJI KUAT TARIK TULANGAN BAJA**

### HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK TULANGAN BAJA

Dikirim oleh : Darmansyah Tjitradi ( Mhs. S2 – Jur. Teknik Sipil ITS Surabaya)

Tanggal : 15 Juli 2000

Untuk Proyek : Penelitian Thesis S2

Sample : 3 bh besi beton ulir diameter 13 mm.  
4 bh besi beton polos diameter 8 mm.

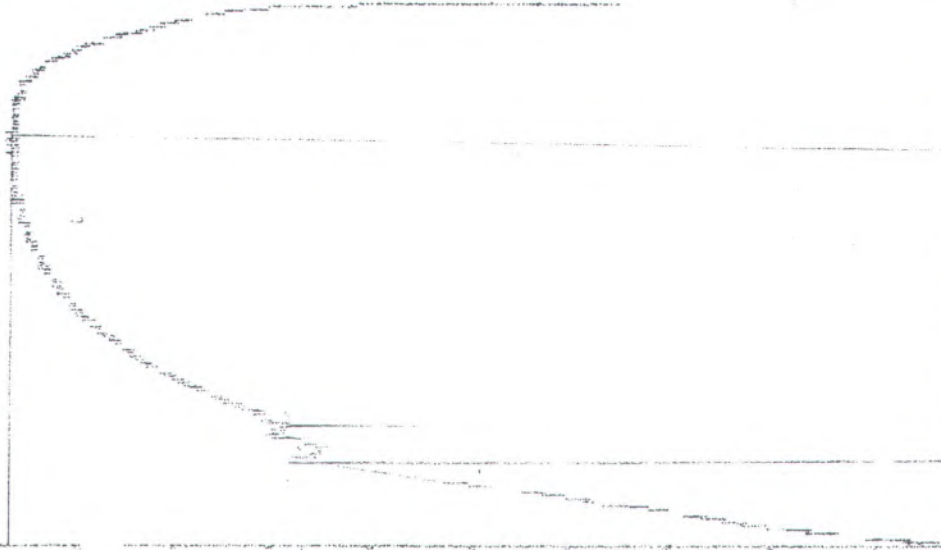
No Sample	Diameter Efektif (mm)	Regangan			Tegangan leleh	Tegangan tarik
		$\epsilon_y$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_y$ (MPa)	$f_{su}$ (MPa)
1	12,68	0,00170	0,0197	0,1745	340,952	482,718
2	12,68	0,00173	0,0197	0,1671	346,667	487,124
3	12,68	0,00166	0,0237	0,1778	331,429	458,844
Rata-Rata	12,68	0,00170	0,0210	0,1731	340	476

No Sample	Diameter Efektif (mm)	Regangan			Tegangan leleh	Tegangan tarik
		$\epsilon_y$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_y$ (MPa)	$f_{su}$ (MPa)
1	7	0,00185	-	0,1465	369,524	475,225
2	7	0,00185	-	0,1124	369,524	495,693
3	7	0,00176	-	0,1195	352,381	475,471
4	7	0,00174	-	0,1087	348,571	477,131
Rata-Rata	7	0,00180	-	0,1218	360	480

Yogyakarta, 12 Maret 2001  
Teknik Laboratorium IT MM UGM

M. Alwi Sawignyo  
NIP. 12127148

1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100 0



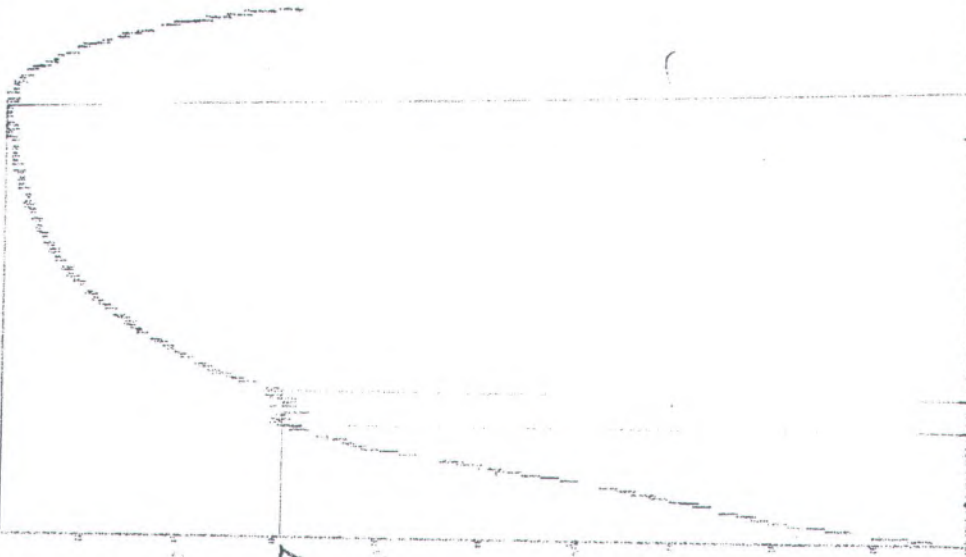
0.0017 0.0197 0.1745

0.0017 0.0197 0.1745

0.0017 0.0197 0.1745

0.0017 0.0197 0.1745

500 0  
100  
50  
0



346.667

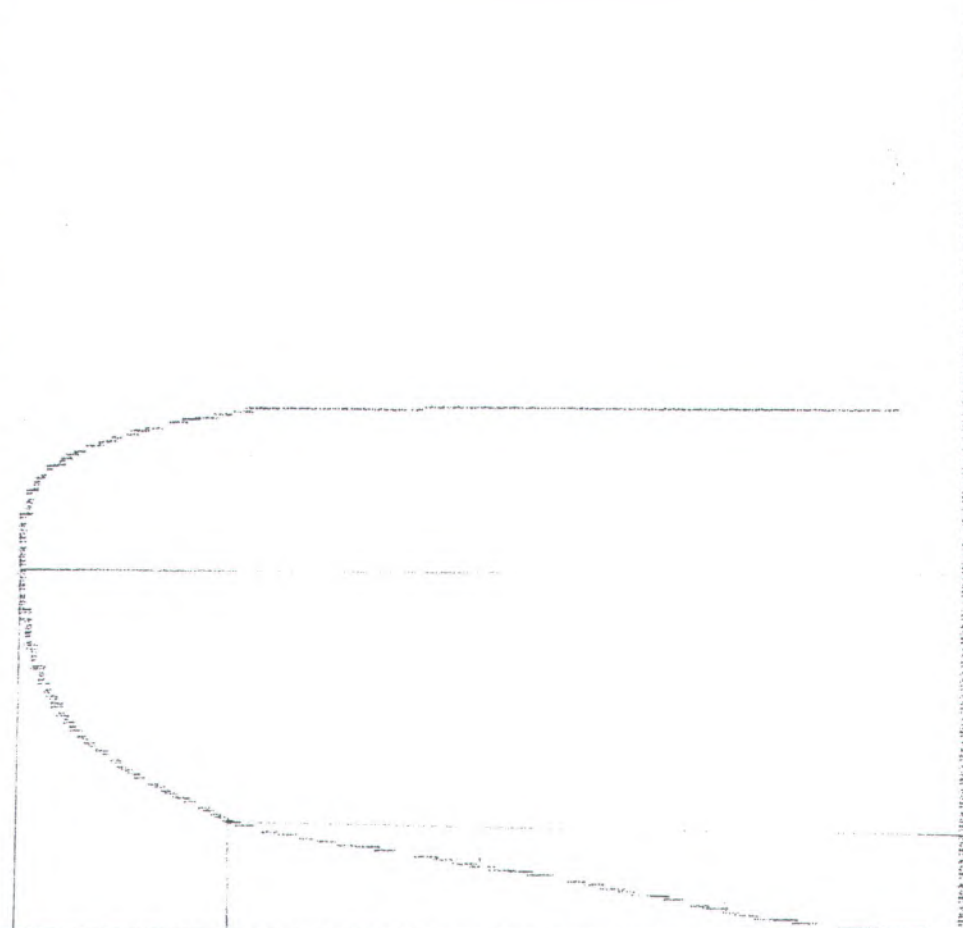
0.000173  
0.000197  
0.1671

0.000173  
0.000197  
0.1671

0.000173  
0.000197  
0.1671

0.000173  
0.000197  
0.1671

500.0  
300  
200  
100  
0.00

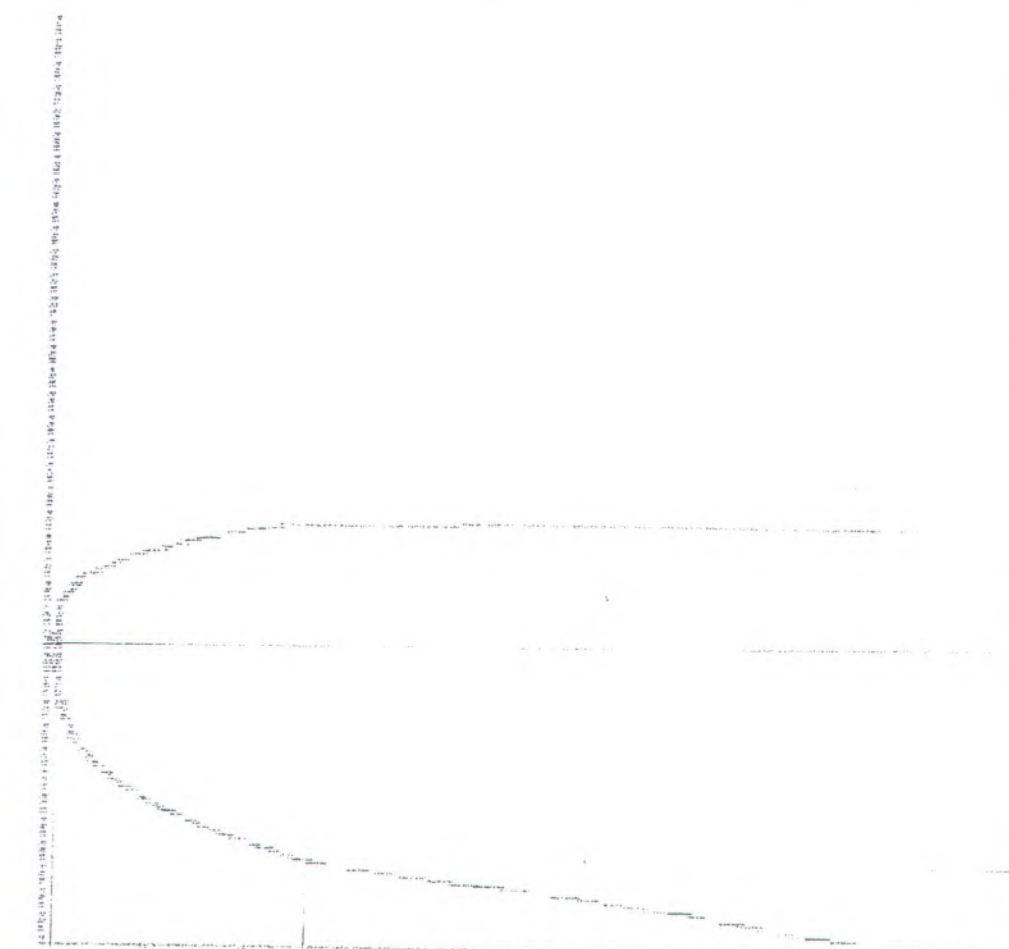


0.1465  
0.0000  
0.0000  
0.0000  
0.0000

500.0  
300  
200  
100  
0.00



0.1465  
0.0000  
0.0000  
0.0000  
0.0000



0.1124

369.524

100

0.00



**LAMPIRAN II**  
**HASIL UJI KUAT TEKAN SILINDER BETON**

### HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON

Dikirim oleh : Darmansyah Tjitradi (S2 - Teknik Sipil ITS)

Untuk Proyek : Penelitian Thesis S2

Sample : 20 bh silinder beton 15/30

No	Umur	Diameter	Luas	Beban	Tegangan
Benda uji	Beton	Silinder	Silinder	$P_y$	$f_c'$
	(hari)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)	(MPa)
1	3	150	17662.50	425	60.156
2	7	150	17662.50	550	47.907
3	7	150	17662.50	600	52.262
4	7	150	17662.50	625	54.440
5	14	150	17662.50	850	54.687
6	14	150	17662.50	825	53.079
7	14	150	17662.50	900	57.904
8	14	150	17662.50	950	61.121
9	14	150	17662.50	900	57.904
10	28	150	17662.50	950	53.786
11	28	150	17662.50	1000	56.617
12	28	150	17662.50	1100	62.279
13	28	150	17662.50	1200	67.941
14	28	150	17662.50	1150	65.110
15	28	150	17662.50	1350	76.433
16	28	150	17662.50	1400	79.264
Total					960.888
Rata-Rata					60.055

Ket : 4 bh benda uji gagal di test

Yogyakarta, 12 Maret 2001  
Teknisi Lab PAU - IT MM UGM

M. Alwi Suwignyo  
NIP. 132127148

**LAMPIRAN III**  
**PERHITUNGAN PANJANG SENDI PLASTIS TEORITIS**

## LAMPIRAN III : PERHITUNGAN PANJANG SENDI PLASTIS TEORITIS

Data untuk perhitungan panjang sendi plastis teoritis :

$$z = L = 0,5 \cdot L_n = 0,5 \cdot 1630 = 815 \text{ mm}$$

$$d = 166,666 \text{ mm}$$

$$d_b = 12,68 \text{ mm}$$

$$f_c' = 600 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_g = b_w \cdot h_t = 20 \cdot 20 = 400 \text{ cm}^2$$

$$P_u = 50000 \text{ kg}$$

$$\frac{P_u}{f_c' \cdot A_g} = \frac{50000}{600 \cdot 400} = 0,208 < 0,3$$

Perhitungan panjang sendi plastis satu sisi dihitung berdasarkan perumusan yang diusulkan oleh beberapa peneliti, yaitu :

1. Corley (1966) :  $L_p = 0,5 \cdot d + 0,2 \cdot \sqrt{d} \cdot (z/d)$

$$L_p = 0,5 \cdot 166,666 + 0,2 \cdot \sqrt{166,666} \cdot (815/166,666) = 95,96 \text{ mm}$$

2. Mattock (1967) :  $L_p = 0,5 \cdot d + 0,05 \cdot z$

$$L_p = 0,5 \cdot 166,666 + 0,05 \cdot 815 = 124,08 \text{ mm}$$

3. Sawyer (1964) :  $L_p = 0,25 \cdot d + 0,075 \cdot z$

$$L_p = 0,25 \cdot 166,666 + 0,075 \cdot 815 = 102,79 \text{ mm}$$

4. Zahn (1986) : untuk  $\frac{P_u}{f_c' \cdot A_g} < 0,3$

$$L_p = (0,08 \cdot L + 6 \cdot d_b) \cdot \left( 0,5 + 1,67 \cdot \frac{P_u}{f_c' \cdot A_g} \right)$$

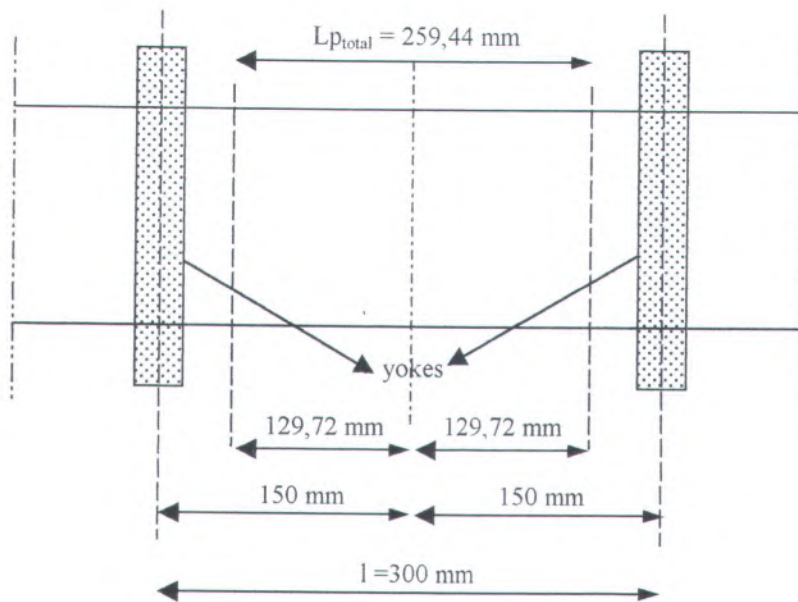
$$L_p = (0,08 \cdot 815 + 6 \cdot 12,68) \cdot \left( 0,5 + 1,67 \cdot \frac{50000}{600 \cdot 400} \right) = 129,72 \text{ mm}$$

Diambil nilai  $l_p$  yang terbesar, yaitu :  $L_p = 129,72 \text{ mm}$ .

Harga  $L_p$  menurut rumus-rumus diatas adalah nilai  $L_p$  pada satu sisi, sehingga jika digunakan untuk kasus 2 tumpuan sederhana maka nilai panjang total sendi plastis adalah  $2 \times L_p$ .

$$L_{p_{total}} = 2 \times L_p = 2 \times 129,72 = 259,44 \text{ mm}$$

Nilai  $L_p$  ini digunakan sebagai panduan dalam penempatan Yokes, penempatan yokes harus sedikit diluar daerah sendi plastis maka diambil jarak antara yokes sebesar  $l = 300 \text{ mm}$ .



Gambar III.1 Sketsa Panjang Sendi Plastis Teoritis Dan Posisi Penempatan Yokes

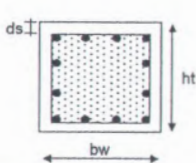
**LAMPIRAN IV**  
**HASIL PERHITUNGAN ANALISA TEORITIS**

LAMPIRAN IV

Tabel IV.1 : Hasil Perhitungan Analisa Teoritis  
Benda Uji : KST.1.0

bw	=	200 mm	$\epsilon_y$	=	0.0017
ht	=	200 mm	$\epsilon_{sh}$	=	0.0210
ds	=	20 mm	$\epsilon_{su}$	=	0.1731
$f_y$	=	340 MPa	$\rho_s$	=	0.0184
$f_{yh}$	=	360 MPa	$\rho_t$	=	0.0455
$f'_c$	=	60 MPa	S	=	50 mm

$\phi_l$	=	12.68 mm	$P_{aksial}$	=	50000 Kg
$\phi_s$	=	7 mm	$P_{aksial}$	=	0,21.f.c'.Ag
K	=	1.1758			
$f_o$	=	70.5493 MPa			
R	=	0 mm	Rasio <sub>lub</sub>	=	0.00 %
$\phi_{lub}$	=	0 mm	$\epsilon_{cu}$	=	0.00739

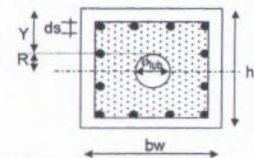


Regangan Tekan Beton	Garis Netral c (mm)	Regangan Baja					Regangan Tekan Lubang $\epsilon_{lub}$	Tegangan Tulangan Baja (MPa)				Kekuatan Tulangan Baja (Kg)				Gaya Tekan Beton Cc (Kg)	Zc (mm)	Momen (KN.m)	Kurvatur $\phi$ (1/mm) $\times 10^{-3}$	M/Mmax	Daktalitas Kurvatur $\mu_e$	Posisi Garis Netral	Zone Kurva
		$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\epsilon_{s3}$	$\epsilon_{s4}$	$\epsilon_{s5}$		$f_{s1}$	$f_{s2}$	$f_{s3}$	$f_{s4}$	$T_{s1}$	$T_{s2}$	$T_{s3}$	$T_{s4}$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.00136	179.929	0.00103	0.00010	0.00044	0.00077	0.00111	Tanpa Lubang	20.010	87.028	154.045	221.062	1010.745	2197.937	3890.5	11166.13	31734.6891	40.0236	19.847	0.75402	0.351	0.32	c > Y + dlub	I
0.00181	142.774	0.00126	0.00030	0.00026	0.00082	0.00139		60.526	52.084	164.694	277.304	3057.252	1315.412	4159.45	14006.98	33575.4122	52.4086	29.603	1.26699	0.524	0.54	c > Y + dlub	I
0.00226	124.387	0.00147	0.00077	0.00004	0.00085	0.00166		153.691	7.879	169.450	331.020	7763.107	199.0016	4279.56	16720.22	36564.3246	58.5376	38.631	1.81784	0.683	0.78	c > Y + dlub	I
0.00271	116.109	0.00170	0.00118	0.00014	0.00090	0.00193		236.267	28.560	179.146	340.000	11934.16	721.3117	4524.46	17173.84	40957.1821	61.2969	45.674	2.33694	0.808	1.00	c > Y + dlub	I
0.00317	111.011	0.00193	0.00159	0.00032	0.00095	0.00221		317.380	63.927	189.527	340.000	16031.26	1614.507	4786.62	17173.84	45685.3158	62.9963	52.337	2.85163	0.926	1.22	c > Y + dlub	I
0.00362	103.605	0.00210	0.00220	0.00065	0.00090	0.00245		340.000	130.008	180.360	340.000	17173.84	3283.437	4565.1	17173.84	48728.3326	66.4651	56.538	3.49199	1.000	1.49	c > Y + dlub	I
0.00400	121.168	0.00256	0.00150	0.00003	0.00143	0.00290		300.355	6.945	286.466	340.000	16171.31	175.389	7234.88	17173.84	40937.9873	43.9439	41.198	3.30120	0.729	1.41	c > Y + dlub	I
0.00445	117.246	0.00280	0.00188	0.00019	0.00150	0.00319		340.000	37.779	299.730	340.000	17173.84	954.1323	7569.87	17173.84	43384.2589	45.2515	44.422	3.79736	0.786	1.62	c > Y + dlub	I
0.00490	112.104	0.00300	0.00239	0.00044	0.00150	0.00345		340.000	88.514	300.330	340.000	17173.84	2235.478	7585.02	17173.84	44650.4619	46.9654	46.049	4.37493	0.814	1.87	c > Y + dlub	I
0.00543	107.385	0.00323	0.00300	0.00075	0.00150	0.00374		340.000	149.936	299.226	340.000	17173.84	3786.734	7557.14	17173.84	46229.5934	48.5382	47.856	5.05358	0.846	2.16	c > Y + dlub	I
0.00643	101.609	0.00368	0.00411	0.00130	0.00151	0.00432		340.000	260.735	301.435	340.000	17173.84	6585.036	7612.94	17173.84	48972.0939	49.6926	50.386	6.32505	0.891	2.71	c > Y + dlub	II
0.00739	100.909	0.00420	0.00482	0.00156	0.00169	0.00495		340.000	312.146	338.763	340.000	17173.84	7883.456	8565.67	17173.84	49327.7867	32.6547	42.657	7.32346	0.764	3.13	c > Y + dlub	II
0.00839	95.907	0.00458	0.00619	0.00230	0.00159	0.00547		340.000	340.000	317.158	340.000	17173.84	8586.918	8010.04	17173.84	50576.8767	35.8382	44.710	8.74802	0.791	3.74	c < Y	II
0.00939	92.129	0.00496	0.00760	0.00307	0.00146	0.00599		340.000	340.000	292.497	340.000	17173.84	8586.918	7387.19	17173.84	51199.7238	37.4741	45.632	10.19223	0.807	4.36	c < Y	II
0.01039	89.441	0.00534	0.00897	0.00381	0.00135	0.00652		340.000	340.000	270.932	340.000	17173.84	8586.918	6842.56	17173.84	51744.3601	38.3031	46.144	11.61653	0.816	4.97	c < Y	II
0.01139	87.457	0.00572	0.01031	0.00453	0.00126	0.00705		340.000	340.000	252.061	340.000	17173.84	8586.918	6365.97	17173.84	52220.9499	38.6867	46.421	13.02352	0.821	5.57	c < Y	II
0.01239	85.950	0.00612	0.01163	0.00523	0.00118	0.00758		340.000	340.000	235.556	340.000	17173.84	8586.918	5949.13	17173.84	52637.7926	38.8071	46.553	14.41530	0.823	6.17	c < Y	II
0.01339	84.781	0.00652	0.01293	0.00591	0.00111	0.00812		340.000	340.000	221.145	340.000	17173.84	8586.918	5585.16	17173.84	53001.7592	38.7637	46.591	15.79362	0.824	6.76	c < Y	II
0.01439	83.858	0.00693	0.01421	0.00658	0.00104	0.00867		340.000	340.000	208.599	340.000	17173.84	8586.918	5268.31	17173.84	53318.6063	38.6142	46.563	17.15994	0.824	7.34	c < Y	II
0.01539	83.119	0.00734	0.01547	0.00724	0.00099	0.00922		340.000	340.000	197.727	340.000	17173.84	8586.918	4993.71	17173.84	53593.2071	38.3939	46.490	18.51551	0.822	7.92	c < Y	II
0.01639	82.522	0.00775	0.01671	0.00788	0.00094	0.00977		340.000	340.000	188.362	340.000	17173.84	8586.918	4757.19	17173.84	53829.7255	38.1247	46.384	19.86139	0.820	8.50	c < Y	II
0.01739	82.034	0.00817	0.01794	0.00852	0.00090	0.01032		340.000	340.000	180.362	340.000	17173.84	8586.918	4555.17	17173.84	54031.7482	37.8213	46.252	21.19849	0.818	9.07	c < Y	II
0.01839	81.633	0.00859	0.01915	0.00914	0.00087	0.01088		340.000	340.000	173.606	340.000	17173.84	8586.918	4384.53	17173.84	54202.3873	37.4934	46.101	22.52760	0.815	9.64	c < Y	II
0.01939	81.302	0.00902	0.02036	0.00976	0.00084	0.01144		340.000	340.000	167.985	340.000	17173.84	8586.918	4242.56	17173.84	54344.3613	37.1475	45.934	23.84942	0.812	10.21	c < Y	II
0.02039	81.089	0.00945	0.02152	0.01034	0.00083	0.01201		342.987	340.000	166.397	340.000	17324.71	8586.918	4202.47	17173.84	54535.3209	36.7745	45.894	25.14530	0.812	10.76	c < Y	II
0.02139	80.981	0.00990	0.02263	0.01089	0.00085	0.01258		349.108	340.000	169.122	340.000	17633.9	8586.918	4271.29	17173.84	54775.6888	36.3794	45.887	26.41346	0.813	11.30	c < Y	II
0.02239	80.897	0.01035	0.02374	0.01144	0.00086	0.01316		354.800	340.000	172.550	340.000	17921.42	8586.918	4357.87	17173.84	54976.6333	35.9811	46.052	27.67710	0.815	11.84	c < Y	II
0.02339	80.832	0.01080	0.02484	0.01198	0.00088	0.01374		360.109	340.000	176.618	340.000	18189.57	8586.918	4460.6	17173.84	55142.0560	35.5808	46.092	28.93663	0.815	12.38	c < Y	II
0.02439	80.782	0.01126	0.02593	0.01251	0.00091	0.01432		365.073	340.000	181.268	340.000	18440.3	8586.918	4578.05	17173.84	55275.3309	35.1790	46.111	30.19241	0.816	12.92	c < Y	II
0.02539	80.745	0.01171	0.02702	0.01304	0.00093	0.01491		369.725	340.000	186.453	340.000	18675.3	8586.918	4708.99	17173.84	55379.3937	34.7761	46.110	31.44476	0.816	13.46	c < Y	II
0.02639	80.718	0.01217	0.02810	0.01357	0.00096	0.01549		374.096	340.000	192.128	340.000	18896.04	8586.918	4852.31	17173.84	55456.8145	34.3725	46.092	32.89396	0.815	13.99	c < Y	II
0.02739	80.701	0.01263	0.02917	0.01409	0.00099	0.01607		378.209	340.000	198.254	340.000	19103.82	8586.918	5007.04	17173.84	55509.8546	33.9680	46.059	33.94025	0.815	14.52	c < Y	II
0.02839	80.690	0.01309	0.03025	0.01461	0.00102	0.01666		382.088	340.000	204.798	340.000	19299.74	8586.918	5172.31	17173.84	55540.5137	33.5627	46.011	35.18386	0.814	15.06	c < Y	II
0.02939	80.686	0.01355	0.03132	0.01513	0.00106	0.01725		385.752	340.000	211.729	340.000	19484.82	8586.918	5347.34	17173.84	55550.5681	33.1564	45.951	36.42499	0.813	15.59	c < Y	II
0.03039	80.688	0.01401	0.03238	0.01564	0.00110	0.01783		389.219	340.000	219.017	340.000	19659.94	8586.918	5531.42	17173.84	55541.6020	32.7490	45.880	37.66381	0.811	16.12	c < Y	II
0.03139	80.693	0.01447	0.03344	0.01615	0.00113	0.01842		392.504	340.000	226.639	340.000	19825.87	8586.918	5									

LAMPIRAN IV

Tabel IV.2 : Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji : KST.1.1

- bw = 200 mm
- ht = 200 mm
- ds = 20 mm
- f<sub>y</sub> = 340 MPa
- f<sub>pk</sub> = 360 MPa
- f<sub>c</sub>' = 60 MPa
- ε<sub>y</sub> = 0.0017
- ε<sub>sh</sub> = 0.0210
- ε<sub>su</sub> = 0.1731
- ρ<sub>s</sub> = 0.0184
- ρ<sub>1</sub> = 0.0455
- S = 50 mm
- ε<sub>ti</sub> = 12.68 mm
- ε<sub>s</sub> = 7 mm
- K = 1.1758
- f<sub>c</sub> = 70.5493 MPa
- R = 24 mm
- ε<sub>ub</sub> = 48 mm
- Y = 76 mm
- Y+R = 100 mm
- Y+ε<sub>ub</sub> = 124 mm
- Rasio<sub>ub</sub> = 4.52 %
- ε<sub>cu</sub> = 0.00739
- P<sub>aksial</sub> = 50000 Kg
- P<sub>aksial</sub> = 0,21.fc'.Ag



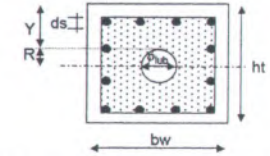
Regangan Tekan Beton	Garis Netral		Regangan Baja					Regangan Tekan Lubang	Tegangan Tulangan Baja				Kekuatan Tulangan Baja				Gaya Tekan Beton	Zc (mm)	Momen (KN.m)	Kurvatur ϕ (1/mm) x 10 <sup>-3</sup>	M/Mmax	Daktilitas Kurvatur μ <sub>p</sub>	Posisi Garis Netral	Zone Kurva		
	c (mm)	ε <sub>sp</sub>	ε <sub>s1</sub>	ε <sub>s2</sub>	ε <sub>s3</sub>	ε <sub>s4</sub>	f <sub>s1</sub> (MPa)		f <sub>s2</sub> (MPa)	f <sub>s3</sub> (MPa)	f <sub>s4</sub> (MPa)	T <sub>s1</sub> (Kg)	T <sub>s2</sub> (Kg)	T <sub>s3</sub> (Kg)	T <sub>s4</sub> (Kg)	Cc (Kg)										
ε <sub>c</sub>	(mm)																									
0.00136	186.220	0.00104	0.00014	0.00047	0.00079	0.00111	0.00090	28.500	93.254	158.007	222.761	1439.6	2355.18	3990.57	11251.9	30962.73068	49.119	22.113	0.72855	0.381	0.32	c > Y + dlub	I			
0.00181	146.215	0.00127	0.00025	0.00030	0.00085	0.00140	0.00096	50.589	59.371	169.331	279.292	2555.3	1499.45	4276.57	14107.4	32671.91658	63.598	32.503	1.23718	0.560	0.54	c > Y + dlub	I			
0.00226	126.320	0.00148	0.00072	0.00007	0.00087	0.00166	0.00102	144.419	14.679	173.777	332.874	7294.8	370.72	4388.84	16813.9	35721.32973	67.413	41.044	1.79003	0.707	0.78	c > Y + dlub	I			
0.00271	117.506	0.00171	0.00114	0.00011	0.00092	0.00194	0.00099	227.007	21.769	183.468	340.000	11466	549.797	4633.61	17173.8	40208.75829	68.054	47.607	2.30915	0.820	1.00	c > Y + R	I			
0.00317	112.056	0.00194	0.00154	0.00029	0.00097	0.00222	0.00153	308.520	57.429	193.661	340.000	15584	1450.42	4891.04	17173.8	44969.28516	68.5	54.049	2.82505	0.930	1.22	c > Y + R	I			
0.00362	104.705	0.00211	0.00214	0.00061	0.00093	0.00247	0.00163	340.000	121.037	186.069	340.000	17174	3056.87	4699.29	17173.8	48367.68036	69.216	58.091	3.45529	1.000	1.50	c > Y + R	I			
0.00400	123.000	0.00259	0.00142	0.00003	0.00147	0.00292	0.00164	283.970	5.071	294.113	340.000	14344	128.079	7428	17173.8	39613.77249	63.386	43.780	3.25204	0.754	1.41	c > Y + R	I			
0.00445	119.782	0.00284	0.00174	0.00009	0.00156	0.00321	0.00164	340.000	18.120	312.241	340.000	17174	457.642	7885.84	17173.8	42571.80548	53.53	47.539	3.71693	0.818	1.61	c > Y + R	I			
0.00490	114.051	0.00303	0.00226	0.00035	0.00156	0.00347	0.00166	340.000	70.254	311.950	340.000	17174	1774.32	7878.5	17173.8	43895.82317	53.822	48.667	4.30023	0.838	1.86	c > Y + R	I			
0.00543	108.857	0.00326	0.00288	0.00067	0.00155	0.00376	0.00188	340.000	133.238	309.853	340.000	17174	3365.01	7825.52	17173.8	45539.48396	54.136	50.036	4.98527	0.861	2.16	c > Y + R	I			
0.00643	102.563	0.00370	0.00402	0.00123	0.00155	0.00434	0.00180	340.000	246.355	310.587	340.000	17174	6221.86	7844.07	17173.8	48377.78666	53.871	52.083	6.26622	0.897	2.71	c > Y + R	II			
0.00739	102.022	0.00424	0.00468	0.00146	0.00176	0.00498	0.00170	340.000	292.603	340.000	340.000	17174	7389.89	8586.92	17173.8	48802.96887	37.586	44.789	7.24361	0.771	3.14	c > Y + R	II			
0.00839	96.793	0.00462	0.00606	0.00220	0.00165	0.00550	0.00161	340.000	340.000	329.614	340.000	17174	8586.92	8324.6	17173.8	50262.31671	39.414	46.464	8.66795	0.800	3.75	c > Y	II			
0.00939	92.742	0.00499	0.00748	0.00298	0.00151	0.00601	0.00153	340.000	340.000	302.973	340.000	17174	8586.92	7651.76	17173.8	50935.15279	40.045	46.902	10.12489	0.807	4.38	c > Y	II			
0.01039	89.887	0.00536	0.00887	0.00374	0.00140	0.00654	0.00147	340.000	340.000	279.898	340.000	17174	8586.92	7069.01	17173.8	51517.9109	40.218	47.095	11.55890	0.811	5.01	c > Y	II			
0.01139	87.795	0.00575	0.01023	0.00447	0.00130	0.00706	0.00142	340.000	340.000	259.862	340.000	17174	8586.92	6562.98	17173.8	52023.93582	40.16	47.155	12.97337	0.812	5.62	c > Y	II			
0.01239	86.215	0.00614	0.01156	0.00517	0.00121	0.00760	0.00138	340.000	340.000	242.448	340.000	17174	8586.92	6123.19	17173.8	52463.7265	39.973	47.136	14.37099	0.811	6.22	c > Y	II			
0.01339	84.995	0.00654	0.01287	0.00586	0.00114	0.00814	0.00134	340.000	340.000	227.324	340.000	17174	8586.92	5741.21	17173.8	52845.70753	39.71	47.065	15.75390	0.810	6.82	c > Y	II			
0.01439	84.035	0.00694	0.01415	0.00654	0.00107	0.00868	0.00132	340.000	340.000	214.216	340.000	17174	8586.92	5410.16	17173.8	53176.75541	39.401	46.958	17.12384	0.808	7.42	c > Y	II			
0.01539	83.269	0.00735	0.01541	0.00720	0.00101	0.00923	0.00130	340.000	340.000	202.899	340.000	17174	8586.92	5124.35	17173.8	53462.56404	39.061	46.826	18.48226	0.806	8.00	c > Y	II			
0.01639	82.651	0.00776	0.01666	0.00785	0.00097	0.00978	0.00129	340.000	340.000	193.185	340.000	17174	8586.92	4879.01	17173.8	53707.90694	38.701	46.674	19.83039	0.803	8.59	c > Y	II			
0.01739	82.147	0.00818	0.01789	0.00848	0.00092	0.01033	0.00128	340.000	340.000	184.913	340.000	17174	8586.92	4670.09	17173.8	53916.82949	38.327	46.507	21.16924	0.801	9.17	c > Y	II			
0.01839	81.734	0.00860	0.01911	0.00911	0.00089	0.01089	0.00130	340.000	340.000	177.945	340.000	17174	8586.92	4494.12	17173.8	54092.79275	37.944	46.328	22.49971	0.798	9.74	c > Y	II			
0.01939	81.393	0.00903	0.02031	0.00973	0.00086	0.01145	0.00134	340.000	340.000	172.165	340.000	17174	8586.92	4348.13	17173.8	54238.78289	37.555	46.140	23.82254	0.794	10.32	c > Y	II			
0.02039	81.170	0.00946	0.02148	0.01031	0.00085	0.01201	0.00138	342.748	340.000	170.312	340.000	17313	8586.92	4301.33	17173.8	54424.40464	37.156	46.075	25.12014	0.793	10.88	c > Y	II			
0.02139	81.061	0.00991	0.02259	0.01086	0.00087	0.01259	0.00142	348.878	340.000	173.163	340.000	17622	8586.92	4373.33	17173.8	54662.01017	36.75	46.163	26.38749	0.795	11.43	c > Y	II			
0.02239	80.976	0.01036	0.02369	0.01140	0.00088	0.01317	0.00147	354.576	340.000	176.739	340.000	17910	8586.92	4463.67	17173.8	54859.52568	36.343	46.224	27.65017	0.796	11.97	c > Y	II			
0.02339	80.910	0.01081	0.02479	0.01194	0.00090	0.01375	0.00152	359.890	340.000	180.977	340.000	18179	8586.92	4570.68	17173.8	55020.91394	35.936	46.262	28.90861	0.796	12.52	c > Y	II			
0.02439	80.860	0.01127	0.02588	0.01248	0.00093	0.01433	0.00157	364.858	340.000	185.817	340.000	18429	8586.92	4692.92	17173.8	55149.597	35.529	46.278	30.16317	0.797	13.06	c > Y	II			
0.02539	80.823	0.01172	0.02696	0.01300	0.00096	0.01492	0.00162	369.513	340.000	191.210	340.000	18665	8586.92	4829.12	17173.8	55248.5496	35.123	46.276	31.41418	0.797	13.60	c > Y	II			
0.02639	80.797	0.01218	0.02804	0.01353	0.00099	0.01550	0.00168	373.886	340.000	197.110	340.000	18885	8586.92	4978.15	17173.8	55320.37323	34.717	46.257	32.66193	0.796	14.14	c > Y	II			
0.02739	80.781	0.01264	0.02912	0.01405	0.00102	0.01609	0.00174	378.001	340.000	203.480	340.000	19093	8586.92	5139.02	17173.8	55367.35549	34.311	46.223	33.90666	0.796	14.68	c > Y	II			
0.02839	80.771	0.01310	0.03019	0.01457	0.00105	0.01667	0.00180	381.881	340.000	210.283	340.000	19289	8586.92	5310.84	17173.8	55391.51811	33.905	46.175	35.14860	0.795	15.22	c > Y	II			
0.02939	80.768	0.01356	0.03125	0.01508	0.00109	0.01728	0.00186	385.545	340.000	217.489	340.000	19474	8586.92	5492.82	17173.8	55394.65617	33.498	46.114	36.38796	0.794	15.76	c > Y	II			
0.03039	80.771	0.01402	0.03232	0.01560	0.00113	0.01785	0.00192	389.013	340.000	225.068	340.000	19650	8586.92	5684.24	17173.8	55378.37033	33.09	46.042	37.62492	0.793	16.29	c > Y	II			
0.03139	80.778	0.01449	0.03337	0.01610	0.00116	0.01843	0.00198	392.298	340.000	232.996	340.000	19815	8586.92	5884.46	17173.8	55344.09355	32.68	45.959	38.85963	0.791	16.83	c > Y	II			
0.03239	80.789	0.01495	0.03443	0.01661	0.00121	0.01902	0.00205	395.415	340.000	241.949	340.000	19973	8586.92	6092.89	17173.8	55293.11344	32.27	45.867	40.09226	0.790	17.36	c > Y	II			
0.03339	80.803	0.01541	0.03548	0.01711	0.00125	0.01961	0.00212	398.377	340.000	249.806	340.000	20123	8586.92	6309.01	17173.8	55226.59093	31.857	45.765	41.32292	0.788	17.90	c > Y	II			
0.03439	80.819	0.01588	0.03653	0.01762	0.00129	0.02020	0.00217	401.194	340.000	258.648	340.000	20265	8586.92	6532.33	17173.8	55145.57613	31.441	45.655	42.55176	0.786	18.43	c > Y	II			



# LAMPIRAN IV

## Tabel IV.3 : Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Benda Uji : KST.1.2

bw =	200 mm	ε <sub>y</sub> =	0.0017	φ <sub>1</sub> =	12.68 mm	Y =	70 mm	P <sub>aksial</sub> =	50000 Kg
ht =	200 mm	ε <sub>sh</sub> =	0.0210	φ <sub>2</sub> =	7 mm	Y+R =	100 mm	P <sub>aksial</sub> =	0,21.fc'.Ag
ds =	20 mm	ε <sub>su</sub> =	0.1731	K =	1.1758	Y+φ <sub>lub</sub> =	130 mm		
f <sub>y</sub> =	340 MPa	ρ <sub>s</sub> =	0.0184	f <sub>o</sub> =	70.5493 MPa	Rasio <sub>lub</sub> =	7.07 %		
f <sub>yh</sub> =	360 MPa	ρ <sub>t</sub> =	0.0455	R =	30 mm	ε <sub>cu</sub> =	0.00739		
f' <sub>c</sub> =	60 MPa	S =	50 mm	φ <sub>lub</sub> =	60 mm				

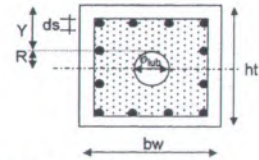


Regangan Tekan Beton	Regangan Baja						Regangan Tekan Lubang	Tegangan Tulangan Baja				Kekuatan Tulangan Baja				Gaya Tekan Beton	Zc	Momen	Kurvatur	M/Mmax	Daktilitas Kurvatur	Posisi Garis Netral	Zone Kurva
	Netral c	ε <sub>sp</sub>	ε <sub>s1</sub>	ε <sub>s2</sub>	ε <sub>s3</sub>	ε <sub>s4</sub>		f <sub>s1</sub>	f <sub>s2</sub>	f <sub>s3</sub>	f <sub>s4</sub>	T <sub>s1</sub>	T <sub>s2</sub>	T <sub>s3</sub>	T <sub>s4</sub>	Cc	(mm)	(KN.m)	φ		μ <sub>e</sub>		
ε <sub>c</sub>	(mm)							ε <sub>lub</sub>	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)				(1/mm)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.00136	190.074	0.00105	0.00017	0.00048	0.00080	0.00112	0.00102	33.424	96.895	160.305	223.746	1688.3	2446.3624	4048.61	11301.67	30515.0233	50.863	22.285	0.71378	0.380	0.31	c > Y + dlub	I
0.00181	148.361	0.00128	0.00022	0.00032	0.00086	0.00140	0.00111	44.624	63.746	172.115	280.485	2254	1609.9365	4346.88	14167.66	32129.5389	66.424	32.897	1.21928	0.561	0.53	c > Y + dlub	I
0.00226	127.541	0.00149	0.00069	0.00009	0.00088	0.00167	0.00120	138.708	18.867	176.442	334.017	7006.3	476.49784	4456.15	16871.62	35202.0454	69.412	41.236	1.77290	0.704	0.77	c > Y + R	I
0.00271	118.484	0.00172	0.00110	0.00009	0.00093	0.00195	0.00122	220.654	17.111	186.433	340.000	11146	432.14251	4708.48	17173.84	39695.3608	69.891	47.763	2.29010	0.815	1.00	c > Y + R	I
0.00317	112.850	0.00195	0.00151	0.00026	0.00098	0.00223	0.00175	301.889	52.567	196.756	340.000	15249	1327.6042	4969.2	17173.84	44433.3861	70.245	54.224	2.80516	0.925	1.22	c > Y + R	I
0.00362	105.723	0.00213	0.00209	0.00056	0.00096	0.00248	0.00188	340.000	112.905	191.244	340.000	17174	2851.4917	4829.99	17173.84	48021.5004	70.774	58.690	3.42202	1.000	1.49	c > Y + R	I
0.00400	124.200	0.00260	0.00137	0.00006	0.00150	0.00293	0.00193	273.492	12.755	299.003	340.000	13814	322.1409	7551.5	17173.84	38766.9626	65.676	43.808	3.22061	0.748	1.41	c > Y + R	I
0.00445	121.201	0.00285	0.00167	0.00004	0.00160	0.00323	0.00198	333.986	7.490	319.006	340.000	16870	189.16345	8056.69	17173.84	41828.6764	55.67	47.812	3.67344	0.816	1.60	c > Y + R	I
0.00490	115.565	0.00306	0.00217	0.00028	0.00160	0.00349	0.00208	340.000	56.486	320.712	340.000	17174	1426.5854	8099.79	17173.84	43326.7953	55.868	49.219	4.24390	0.840	1.85	c > Y + R	I
0.00543	110.107	0.00328	0.00279	0.00060	0.00159	0.00378	0.00238	340.000	119.406	318.655	340.000	17174	3015.667	8047.84	17173.84	44967.8242	56.094	50.579	4.92868	0.863	2.15	c > Y + R	I
0.00643	103.495	0.00373	0.00392	0.00116	0.00160	0.00436	0.00240	340.000	232.555	319.369	340.000	17174	5873.3232	8065.87	17173.84	47807.4507	55.721	52.632	6.20977	0.898	2.71	c > Y + R	II
0.00739	103.179	0.00427	0.00455	0.00136	0.00182	0.00500	0.00237	340.000	272.763	340.000	340.000	17174	6888.814	8586.92	17173.84	48301.8957	39.688	45.605	7.16234	0.777	3.13	c > Y + R	II
0.00839	98.028	0.00467	0.00587	0.00207	0.00173	0.00554	0.00237	340.000	340.000	340.000	340.000	17174	8586.9177	8586.92	17173.84	50000	41.433	47.429	8.55880	0.810	3.74	c > Y	II
0.00939	93.647	0.00503	0.00732	0.00287	0.00159	0.00605	0.00238	340.000	340.000	318.196	340.000	17174	8586.9177	8036.24	17173.84	50550.676	41.878	47.759	10.02703	0.815	4.38	c > Y	II
0.01039	90.669	0.00541	0.00871	0.00362	0.00148	0.00657	0.00240	340.000	340.000	295.405	340.000	17174	8586.9177	7460.64	17173.84	51126.2787	41.906	47.887	11.45921	0.817	5.00	c > Y	II
0.01139	88.490	0.00579	0.01006	0.00434	0.00138	0.00710	0.00244	340.000	340.000	275.717	340.000	17174	8586.9177	6963.4	17173.84	51623.5177	41.729	47.893	12.87145	0.817	5.62	c > Y	II
0.01239	86.847	0.00618	0.01139	0.00505	0.00129	0.00763	0.00248	340.000	340.000	258.715	340.000	17174	8586.9177	6534	17173.84	52052.9143	41.445	47.830	14.26643	0.816	6.23	c > Y	II
0.01339	85.579	0.00658	0.01269	0.00573	0.00122	0.00817	0.00253	340.000	340.000	244.064	340.000	17174	8586.9177	6164	17173.84	52422.9163	41.104	47.721	15.84628	0.815	6.83	c > Y	II
0.01439	84.583	0.00699	0.01396	0.00640	0.00116	0.00872	0.00259	340.000	340.000	231.493	340.000	17174	8586.9177	5846.49	17173.84	52740.423	40.729	47.584	17.01278	0.812	7.43	c > Y	II
0.01539	83.790	0.00740	0.01522	0.00706	0.00110	0.00927	0.00266	340.000	340.000	220.773	340.000	17174	8586.9177	5575.77	17173.84	53011.1524	40.334	47.425	18.36736	0.809	8.02	c > Y	II
0.01639	83.150	0.00782	0.01646	0.00770	0.00106	0.00982	0.00273	340.000	340.000	211.716	340.000	17174	8586.9177	5347.01	17173.84	53239.9034	39.929	47.250	19.71126	0.806	8.61	c > Y	II
0.01739	82.630	0.00824	0.01768	0.00833	0.00102	0.01037	0.00281	340.000	340.000	204.159	340.000	17174	8586.9177	5156.17	17173.84	53430.7484	39.517	47.064	21.04552	0.803	9.19	c > Y	II
0.01839	82.205	0.00866	0.01889	0.00895	0.00099	0.01093	0.00290	340.000	340.000	197.965	340.000	17174	8586.9177	4999.74	17173.84	53587.1761	39.102	46.869	22.37101	0.800	9.77	c > Y	II
0.01939	81.854	0.00909	0.02009	0.00956	0.00097	0.01149	0.00302	340.000	340.000	193.015	340.000	17174	8586.9177	4874.72	17173.84	53712.2014	38.684	46.665	23.68851	0.796	10.34	c > Y	II
0.02039	81.598	0.00952	0.02126	0.01015	0.00095	0.01206	0.00314	341.487	340.000	190.826	340.000	17249	8586.9177	4819.44	17173.84	53842.5965	38.266	46.528	24.98826	0.794	10.91	c > Y	II
0.02139	81.494	0.00997	0.02235	0.01069	0.00097	0.01264	0.00326	347.624	340.000	194.961	340.000	17559	8586.9177	4923.86	17173.84	54048.1756	37.849	46.611	26.24736	0.796	11.46	c > Y	II
0.02239	81.414	0.01043	0.02344	0.01122	0.00100	0.01322	0.00339	353.329	340.000	199.879	340.000	17847	8586.9177	5048.08	17173.84	54212.0979	37.432	46.667	27.50142	0.797	12.01	c > Y	II
0.02339	81.354	0.01088	0.02453	0.01175	0.00103	0.01380	0.00352	358.647	340.000	205.515	340.000	18116	8586.9177	5190.41	17173.84	54338.3932	37.016	46.699	28.75087	0.797	12.55	c > Y	II
0.02439	81.311	0.01134	0.02560	0.01227	0.00106	0.01439	0.00366	363.618	340.000	211.808	340.000	18367	8586.9177	5349.35	17173.84	54430.5443	36.599	46.709	29.99609	0.797	13.10	c > Y	II
0.02539	81.281	0.01180	0.02667	0.01279	0.00109	0.01498	0.00379	368.276	340.000	218.707	340.000	18602	8586.9177	5523.59	17173.84	54491.5814	36.182	46.700	31.23742	0.797	13.64	c > Y	II
0.02639	81.262	0.01226	0.02773	0.01330	0.00113	0.01556	0.00393	372.650	340.000	226.166	340.000	18823	8586.9177	5711.96	17173.84	54524.1571	35.764	46.673	32.47515	0.797	14.18	c > Y	II
0.02739	81.253	0.01273	0.02879	0.01381	0.00117	0.01615	0.00407	376.766	340.000	234.143	340.000	19031	8586.9177	5913.43	17173.84	54530.6065	35.344	46.630	33.70955	0.796	14.72	c > Y	II
0.02839	81.252	0.01319	0.02984	0.01431	0.00121	0.01674	0.00421	380.648	340.000	242.603	340.000	19227	8586.9177	6127.08	17173.84	54512.9954	34.922	46.571	34.94084	0.795	15.26	c > Y	II
0.02939	81.257	0.01366	0.03089	0.01482	0.00126	0.01733	0.00436	384.313	340.000	251.511	340.000	19412	8586.9177	6352.08	17173.84	54473.1606	34.496	46.499	36.16925	0.794	15.79	c > Y	II
0.03039	81.268	0.01412	0.03193	0.01531	0.00130	0.01792	0.00450	387.781	340.000	260.839	340.000	19587	8586.9177	6587.67	17173.84	54412.7417	34.066	46.413	37.39496	0.792	16.33	c > Y	II
0.03139	81.283	0.01459	0.03297	0.01581	0.00135	0.01851	0.00465	391.067	340.000	270.561	340.000	19753	8586.9177	6833.18	17173.84	54333.2086	33.631	46.315	38.61815	0.790	16.86	c > Y	II
0.03239	81.302	0.01506	0.03401	0.01630	0.00140	0.01911	0.00480	394.185	340.000	280.650	340.000	19911	8586.9177	7088	17173.84	54235.8839	33.19	46.205	39.83897	0.789	17.40	c > Y	II
0.03339	81.325	0.01553	0.03504	0.01679	0.00146	0.01970	0.00495	397.148	340.000	291.086	340.000	20060											

LAMPIRAN IV

Tabel IV.4 : Hasil Perhitungan Analisa Teoritis  
Benda Uji : KST.1.3

bw = 200 mm	$\epsilon_y = 0.0017$	$\phi_1 = 12.68$ mm	Y = 62.5 mm	$P_{aksial} = 50000$ Kg
ht = 200 mm	$\epsilon_{sh} = 0.0210$	$\phi_3 = 7$ mm	Y+R = 100 mm	$P_{aksial} = 0,21 \cdot f_c \cdot Ag$
ds = 20 mm	$\epsilon_{su} = 0.1731$	K = 1.1758	Y+ $\phi_{lub} = 137.5$ mm	
$f_y = 340$ MPa	$\rho_s = 0.0184$	$f_o = 70.5493$ MPa	Rasio $_{lub} = 11.04$ %	
$f_{yh} = 360$ MPa	$\rho_1 = 0.0455$	R = 37.5 mm	$\epsilon_{cu} = 0.00739$	
$f'_c = 60$ MPa	S = 50 mm	$\phi_{sb} = 75$ mm		

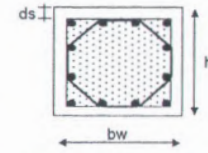


Regangan Tekan Beton	Garis Netral	Regangan Baja					Regangan Tekan Lubang $\epsilon_{lub}$	Tegangan Tulangan Baja				Kekuatan Tulangan Baja				Gaya Tekan Beton	Zc (mm)	Momen (KN.m)	Kurvatur $\rho$ (1/mm)	M/Mmax	Daktilitas Kurvatur $\mu_p$	Posisi Garis Netral	Zone Kurva
		$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\epsilon_{s3}$	$\epsilon_{s4}$	$\epsilon_{s5}$		$f_{s1}$ (MPa)	$f_{s2}$ (MPa)	$f_{s3}$ (MPa)	$f_{s4}$ (MPa)	$T_{s1}$ (Kg)	$T_{s2}$ (Kg)	$T_{s3}$ (Kg)	$T_{s4}$ (Kg)								
$\epsilon_c$ (mm)	c (mm)	$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\epsilon_{s3}$	$\epsilon_{s4}$	$\epsilon_{s5}$																	
0.00136	196.587	0.00106	0.00021	0.00051	0.00082	0.00113	0.00117	41.307	102.645	163.984	225.322	2086.5	2592.375	4141.52	11381.3	29798.3209	52.2332	22.105	0.69013	0.374	0.31	c > Y + dlub	I
0.00181	152.061	0.00129	0.00017	0.00035	0.00088	0.00141	0.00130	34.735	70.998	176.730	282.463	1754.5	1793.089	4463.44	14267.6	31230.4081	69.869	33.094	1.18961	0.560	0.53	c > Y + dlub	I
0.00226	129.732	0.00150	0.00064	0.00013	0.00091	0.00168	0.00144	128.728	26.186	181.099	336.013	6502.2	661.3355	4573.78	16972.5	34294.6441	72.0554	41.229	1.74295	0.697	0.77	c > Y + R	I
0.00271	120.303	0.00173	0.00105	0.00004	0.00096	0.00196	0.00152	209.114	8.647	191.819	340.000	10563	218.3965	4844.61	17173.8	38762.6575	72.4054	47.680	2.25547	0.806	1.00	c > Y + R	I
0.00317	114.362	0.00196	0.00145	0.00022	0.00101	0.00224	0.00202	289.532	43.504	202.523	340.000	14625	1098.724	5114.86	17173.8	43434.6426	72.6667	54.140	2.76809	0.916	1.23	c > Y + R	I
0.00362	107.817	0.00216	0.00197	0.00048	0.00101	0.00250	0.00219	340.000	96.659	201.583	340.000	17174	2441.181	5091.11	17173.8	47350.0701	73.0014	59.136	3.35566	1.000	1.49	c > Y + R	I
0.00400	126.396	0.00262	0.00127	0.00013	0.00154	0.00294	0.00232	254.843	26.432	307.706	340.000	12872	667.5482	7771.32	17173.8	37259.7411	68.5199	43.412	3.16466	0.734	1.40	c > Y + R	I
0.00445	123.213	0.00288	0.00157	0.00004	0.00164	0.00325	0.00242	313.990	7.173	328.337	340.000	15860	181.1713	8292.37	17173.8	40212.6813	58.5802	47.379	3.61346	0.801	1.60	c > Y + R	I
0.00490	118.542	0.00310	0.00199	0.00015	0.00169	0.00353	0.00262	340.000	30.433	337.292	340.000	17174	768.598	8518.53	17173.8	42250.069	58.6779	49.751	4.13732	0.841	1.83	c > Y + R	I
0.00543	112.624	0.00333	0.00260	0.00046	0.00168	0.00382	0.00302	340.000	92.476	335.793	340.000	17174	2335.551	8480.66	17173.8	43854.8878	58.8205	51.095	4.81851	0.864	2.14	c > Y + R	I
0.00643	105.444	0.00378	0.00373	0.00102	0.00169	0.00439	0.00323	340.000	204.502	337.222	340.000	17174	5164.82	8516.76	17173.8	46648.0612	58.3638	53.162	6.09500	0.899	2.70	c > Y + R	II
0.00739	105.660	0.00436	0.00427	0.00116	0.00195	0.00506	0.00330	340.000	231.653	340.000	340.000	17174	6850.556	8586.92	17173.8	47263.6383	42.4702	46.177	6.99416	0.781	3.10	c > Y + R	II
0.00839	101.686	0.00480	0.00536	0.00169	0.00197	0.00564	0.00338	340.000	338.851	340.000	340.000	17174	8557.897	8586.92	17173.8	49970.9792	44.3631	48.874	8.25090	0.826	3.66	c > Y + R	II
0.00939	96.311	0.00515	0.00686	0.00253	0.00181	0.00614	0.00351	340.000	340.000	340.000	340.000	17174	8586.918	8586.92	17173.8	50000	44.5204	48.972	9.74970	0.828	4.32	c > Y	II
0.01039	92.663	0.00551	0.00830	0.00331	0.00167	0.00665	0.00365	340.000	340.000	333.764	340.000	17174	8586.918	8429.43	17173.8	50157.4846	44.3423	48.918	11.21262	0.827	4.97	c > Y	II
0.01139	90.348	0.00591	0.00962	0.00402	0.00158	0.00719	0.00380	340.000	340.000	316.889	340.000	17174	8586.918	8003.23	17173.8	50583.6858	44.0293	48.854	12.60678	0.826	5.59	c > Y	II
0.01239	88.610	0.00631	0.01091	0.00470	0.00151	0.00773	0.00396	340.000	340.000	302.867	340.000	17174	8586.918	7649.1	17173.8	50937.8179	43.6341	48.730	13.98260	0.824	6.20	c > Y	II
0.01339	87.276	0.00672	0.01218	0.00536	0.00146	0.00827	0.00413	340.000	340.000	291.368	340.000	17174	8586.918	7358.67	17173.8	51228.2438	43.1989	48.569	15.34220	0.821	6.80	c > Y	II
0.01439	86.233	0.00713	0.01342	0.00601	0.00141	0.00883	0.00430	340.000	340.000	282.119	340.000	17174	8586.918	7125.09	17173.8	51461.825	42.744	48.384	16.68733	0.818	7.40	c > Y	II
0.01539	85.408	0.00755	0.01464	0.00663	0.00137	0.00938	0.00448	340.000	340.000	274.895	340.000	17174	8586.918	6942.64	17173.8	51644.2743	42.279	48.182	18.01945	0.815	7.99	c > Y	II
0.01639	84.748	0.00798	0.01584	0.00725	0.00135	0.00994	0.00467	340.000	340.000	269.505	340.000	17174	8586.918	6806.51	17173.8	51780.4076	41.8087	47.965	19.33978	0.811	8.57	c > Y	II
0.01739	84.216	0.00841	0.01702	0.00785	0.00133	0.01051	0.00487	340.000	340.000	265.786	340.000	17174	8586.918	6712.59	17173.8	51874.33	41.335	47.738	20.64936	0.807	9.16	c > Y	II
0.01839	83.785	0.00884	0.01819	0.00844	0.00132	0.01107	0.00506	340.000	340.000	263.598	340.000	17174	8586.918	6657.34	17173.8	51929.5744	40.8583	47.501	21.94910	0.803	9.73	c > Y	II
0.01939	83.435	0.00928	0.01934	0.00901	0.00131	0.01164	0.00528	340.000	340.000	262.821	340.000	17174	8586.918	6637.71	17173.8	51949.2069	40.3777	47.255	23.23977	0.799	10.30	c > Y	II
0.02039	83.150	0.00972	0.02048	0.00958	0.00132	0.01221	0.00552	340.000	340.000	263.347	340.000	17174	8586.918	6651.01	17173.8	51935.9093	39.8922	47.000	24.52207	0.795	10.87	c > Y	II
0.02139	83.000	0.01018	0.02156	0.01011	0.00135	0.01280	0.00576	343.230	340.000	269.055	340.000	17337	8586.918	6795.15	17173.8	51954.9412	39.4082	46.897	25.77106	0.793	11.43	c > Y	II
0.02239	82.951	0.01065	0.02259	0.01060	0.00140	0.01339	0.00600	348.916	340.000	279.148	340.000	17624	8586.918	7050.05	17173.8	51987.2321	38.923	46.906	26.99185	0.793	11.97	c > Y	II
0.02339	82.915	0.01112	0.02362	0.01109	0.00145	0.01398	0.00624	354.236	340.000	289.739	340.000	17893	8586.918	7317.55	17173.8	51988.4749	38.4244	46.886	28.20944	0.793	12.51	c > Y	II
0.02439	82.889	0.01159	0.02485	0.01157	0.00150	0.01458	0.00648	359.231	340.000	300.689	340.000	18145	8586.918	7594.08	17173.8	51964.2305	37.9104	46.839	29.42473	0.792	13.05	c > Y	II
0.02539	82.871	0.01206	0.02567	0.01206	0.00156	0.01518	0.00673	363.930	340.000	311.956	340.000	18383	8586.918	7878.65	17173.8	51917.0292	37.3803	46.767	30.63798	0.791	13.58	c > Y	II
0.02639	82.859	0.01254	0.02669	0.01254	0.00162	0.01577	0.00703	368.360	340.000	323.506	340.000	18606	8586.918	8170.36	17173.8	51849.0723	36.8332	46.672	31.84941	0.789	14.12	c > Y	II
0.02739	82.851	0.01301	0.02771	0.01301	0.00168	0.01637	0.00736	372.544	340.000	335.309	340.000	18818	8586.918	8468.45	17173.8	51762.2847	36.2681	46.555	33.05921	0.787	14.66	c > Y	II
0.02839	83.054	0.01352	0.02858	0.01339	0.00180	0.01699	0.00771	375.960	340.000	340.000	340.000	18990	8586.918	8586.92	17173.8	51816.375	35.7161	46.430	34.18249	0.785	15.16	c > Y	II
0.02939	83.399	0.01406	0.02934	0.01368	0.00198	0.01764	0.00807	378.826	340.000	340.000	340.000	19135	8586.918	8586.92	17173.8	51961.1297	35.1706	46.294	35.24033	0.783	15.62	c > Y	II
0.03039	83.752	0.01461	0.03008	0.01396	0.00217	0.01829	0.00843	381.508	340.000	340.000	340.000	19270	8586.918	8586.92	17173.8	52096.6284	34.6112	46.141	36.28551	0.780	16.09	c > Y	II
0.03139	84.114	0.01516	0.03080	0.01422	0.00236	0.01895	0.00880	384.022	340.000	340.000	340.000	19397	8586.918	8586.92	17173.8	52223.6202	34.0375	45.970	37.31821	0.777	16.55	c > Y	II
0.03239	84.484	0.01571	0.03151	0.01447	0.00257	0.01961	0.00918	386.381	340.000	340.000	340.000	19517	8586.918	8586.92	17173.8	52342.772	33.4486	45.782	38.33660	0.774	17.00	c > Y	II
0.03339	84.861	0.01627	0.03219	0.01470	0.00279	0.02027	0.00950	388.597	340.000	340.000	340.000	19629	8586.918	8586.92	17173.8	52454.6785	32.8437	45.577	39.34683	0.771	17.45	c > Y	II
0.03439	85.244	0.01684	0.03285	0.01492	0.00301	0.02094	0.00983	390.679	340.000	340.000	340.000	19734	8586.918	8586.92	17173.8	52559.874	32.2221	45.354	40.34304	0.767	17.89	c > Y	II

LAMPIRAN IV

Tabel IV.5 : Hasil Perhitungan Analisa Teoritis  
Benda Uji : KSR.2.0

$b_w$ =	200 mm	$\epsilon_y$ =	0.0017	$\phi_1$ =	12.68 mm	$P_{aksial}$ =	50000 Kg
$h_t$ =	200 mm	$\epsilon_{sh}$ =	0.0210	$\phi_2$ =	7 mm	$P_{aksial}$ =	0,21.fc'.Ag
$ds$ =	20 mm	$\epsilon_{su}$ =	0.1731	$K$ =	1.1557		
$f_y$ =	340 MPa	$\rho_b$ =	0.02198	$f_c$ =	69.3399 MPa		
$f_{yh}$ =	360 MPa	$\rho_1$ =	0.04546	$R$ =	0 mm	Rasio <sub>lub</sub> =	0.00 %
$f_c'$ =	60 MPa	$S$ =	75 mm	$\phi_{ub}$ =	0 mm	$\epsilon_{cu}$ =	0.00926



Regangan Tekan Beton	Garis Netral	Regangan Baja						Regangan Tekan Lubang	Tegangan Tulangan Baja				Kekuatan Tulangan Baja				Gaya Tekan Beton	Zc (mm)	Momen (KN.m)	Kurvatur (1/mm) x 10 <sup>3</sup>	M/Mmax	Daktilitas Kurvatur $\mu_r$	Posisi Garis Netral	Zone Kurva
		$\epsilon_{sp}$	$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\epsilon_{s3}$	$\epsilon_{s4}$	$\epsilon_{s5}$		$f_{s1}$ (MPa)	$f_{s2}$ (MPa)	$f_{s3}$ (MPa)	$f_{s4}$ (MPa)	$T_{s1}$ (Kg)	$T_{s2}$ (Kg)	$T_{s3}$ (Kg)	$T_{s4}$ (Kg)								
$\epsilon_c$	(mm)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
0.00132	183.415	0.00101	0.00012	0.00044	0.00076	0.00108	Tanpa	24.131	88.136	152.141	216.146	1218.91	2225.94	3842.419	10917.8	31794.9332	38.8617	19.181	0.72013	0.324	0.32	c > Y + dlub	I	
0.00176	144.839	0.00123	0.00027	0.00028	0.00082	0.00136	Lubang	53.065	55.004	163.073	271.142	2680.39	1389.16	4118.516	13695.7	33476.9745	51.7205	28.837	1.21590	0.487	0.54	c > Y + dlub	I	
0.00220	125.760	0.00144	0.00072	0.00006	0.00084	0.00162		143.186	12.394	167.973	323.553	7232.51	313.01	4242.277	16343.1	36334.1386	58.0800	37.691	1.75045	0.637	0.77	c > Y + dlub	I	
0.00264	116.668	0.00166	0.00113	0.00013	0.00088	0.00189		226.388	25.142	176.103	340.000	11436.1	634.988	4447.693	17173.8	40448.6996	61.1107	44.919	2.26424	0.759	1.00	c > Y + dlub	I	
0.00308	111.423	0.00188	0.00153	0.00030	0.00093	0.00216		305.565	59.727	186.111	340.000	15434.5	1508.44	4700.347	17173.8	45068.7364	62.8589	51.446	2.76595	0.869	1.22	c > Y + dlub	I	
0.00352	104.704	0.00206	0.00208	0.00059	0.00091	0.00240		340.000	117.842	181.144	340.000	17173.8	2976.18	4574.903	17173.8	48401.2820	65.0985	56.083	3.36393	0.947	1.49	c > Y + dlub	I	
0.00396	97.842	0.00220	0.00279	0.00099	0.00081	0.00261		340.000	197.452	162.498	340.000	17173.8	4986.78	4103.992	17173.8	50882.7837	67.3859	59.204	4.04984	1.000	1.79	c < Y	I	
0.00400	120.853	0.00256	0.00152	0.00005	0.00143	0.00290		303.225	9.050	285.126	340.000	15316.3	228.552	7201.045	17173.8	41169.9681	44.0490	41.444	3.30981	0.700	1.46	c > Y + dlub	I	
0.00444	116.931	0.00279	0.00189	0.00020	0.00149	0.00317		340.000	40.171	297.338	340.000	17173.8	1014.54	7509.463	17173.8	43505.0770	45.3564	44.523	3.79736	0.752	1.68	c > Y + dlub	I	
0.00528	108.182	0.00316	0.00286	0.00069	0.00148	0.00366		340.000	137.114	296.949	340.000	17173.8	3462.89	7499.63	17173.8	45963.2624	48.2726	47.520	4.88369	0.803	2.16	c > Y + dlub	I	
0.00628	102.048	0.00360	0.00398	0.00124	0.00149	0.00423		340.000	248.412	298.841	340.000	17173.8	6273.8	7547.41	17173.8	48726.3899	49.5775	50.125	6.15721	0.847	2.72	c > Y + dlub	I	
0.00739	100.621	0.00420	0.00485	0.00159	0.00168	0.00494		340.000	317.265	335.505	340.000	17173.8	8012.74	8473.392	17173.8	49539.3493	33.3498	43.081	7.34440	0.728	3.24	c > Y + dlub	I	
0.00839	95.751	0.00458	0.00621	0.00232	0.00157	0.00547		340.000	340.000	314.931	340.000	17173.8	8586.92	7953.788	17173.8	50633.1302	36.1230	44.862	8.76234	0.758	3.87	c < Y	II	
0.00926	92.521	0.00491	0.00742	0.00297	0.00148	0.00592		340.000	340.000	295.078	340.000	17173.8	8586.92	7452.387	17173.8	51134.5300	37.4048	45.587	10.00850	0.770	4.42	c < Y	II	
0.01026	89.820	0.00529	0.00878	0.00370	0.00138	0.00645		340.000	340.000	275.054	340.000	17173.8	8586.92	6946.665	17173.8	51640.2518	38.1716	46.060	11.42290	0.778	5.04	c < Y	II	
0.01126	87.828	0.00568	0.01011	0.00441	0.00129	0.00699		340.000	340.000	257.649	340.000	17173.8	8586.92	6507.081	17173.8	52079.8359	38.5091	46.306	12.82046	0.782	5.66	c < Y	II	
0.01226	86.318	0.00608	0.01141	0.00510	0.00121	0.00752		340.000	340.000	242.543	340.000	17173.8	8586.92	6125.573	17173.8	52461.3437	38.5939	46.412	14.20325	0.784	6.27	c < Y	II	
0.01326	85.148	0.00649	0.01269	0.00577	0.00115	0.00807		340.000	340.000	229.472	340.000	17173.8	8586.92	5795.465	17173.8	52791.4520	38.5217	46.428	15.57295	0.784	6.88	c < Y	II	
0.01426	84.224	0.00690	0.01396	0.00643	0.00109	0.00862		340.000	340.000	218.215	340.000	17173.8	8586.92	5511.161	17173.8	53075.7563	38.3481	46.382	16.93099	0.783	7.48	c < Y	II	
0.01526	83.486	0.00731	0.01520	0.00708	0.00104	0.00917		340.000	340.000	208.584	340.000	17173.8	8586.92	5267.922	17173.8	53318.9949	38.1067	46.293	18.27858	0.782	8.07	c < Y	II	
0.01626	82.888	0.00773	0.01643	0.00772	0.00100	0.00972		340.000	340.000	200.419	340.000	17173.8	8586.92	5061.7	17173.8	53525.2170	37.8188	46.171	19.61675	0.780	8.66	c < Y	II	
0.01726	82.401	0.00815	0.01765	0.00834	0.00097	0.01028		340.000	340.000	193.581	340.000	17173.8	8586.92	4889.006	17173.8	53697.9112	37.4982	46.026	20.94638	0.777	9.25	c < Y	II	
0.01826	82.000	0.00857	0.01885	0.00896	0.00094	0.01084		340.000	340.000	187.951	340.000	17173.8	8586.92	4746.813	17173.8	53840.1048	37.1540	45.863	22.26825	0.775	9.83	c < Y	II	
0.01926	81.669	0.00900	0.02004	0.00956	0.00092	0.01140		340.000	340.000	183.423	340.000	17173.8	8586.92	4632.475	17173.8	53954.4423	36.7926	45.685	23.58303	0.772	10.42	c < Y	II	
0.02026	81.420	0.00944	0.02121	0.01015	0.00091	0.01196		341.228	340.000	181.139	340.000	17235.9	8586.92	4574.773	17173.8	54074.1849	36.4125	45.552	24.88340	0.769	10.99	c < Y	II	
0.02126	81.316	0.00989	0.02231	0.01069	0.00092	0.01254		347.403	340.000	184.919	340.000	17547.8	8586.92	4670.237	17173.8	54290.6000	36.0015	45.637	26.14478	0.771	11.55	c < Y	II	
0.02226	81.236	0.01034	0.02341	0.01123	0.00095	0.01312		353.146	340.000	189.381	340.000	17837.9	8586.92	4782.936	17173.8	54468.0004	35.5877	45.693	27.40177	0.772	12.10	c < Y	II	
0.02326	81.173	0.01080	0.02450	0.01176	0.00097	0.01371		358.503	340.000	194.463	340.000	18108.5	8586.92	4911.277	17173.8	54610.2693	35.1721	45.726	28.65478	0.772	12.66	c < Y	II	
0.02426	81.126	0.01125	0.02558	0.01229	0.00100	0.01429		363.514	340.000	200.109	340.000	18361.6	8586.92	5053.871	17173.8	54720.7629	34.7550	45.737	29.90416	0.773	13.21	c < Y	II	
0.02526	81.091	0.01171	0.02665	0.01281	0.00103	0.01487		368.211	340.000	206.271	340.000	18598.8	8586.92	5209.494	17173.8	54802.4006	34.3370	45.729	31.15023	0.772	13.76	c < Y	II	
0.02626	81.066	0.01217	0.02773	0.01333	0.00106	0.01546		372.624	340.000	212.906	340.000	18821.7	8586.92	5377.07	17173.8	54857.7364	33.9179	45.704	32.39325	0.772	14.31	c < Y	II	
0.02726	81.050	0.01263	0.02879	0.01385	0.00110	0.01605		376.779	340.000	219.976	340.000	19031.6	8586.92	5555.641	17173.8	54889.0168	33.4979	45.664	33.63348	0.771	14.85	c < Y	II	
0.02826	81.041	0.01309	0.02986	0.01436	0.00114	0.01663		380.697	340.000	227.448	340.000	19229.5	8586.92	5744.354	17173.8	54898.2276	33.0768	45.609	34.87112	0.770	15.40	c < Y	II	
0.02926	81.038	0.01355	0.03091	0.01487	0.00118	0.01722		384.399	340.000	235.292	340.000	19416.5	8586.92	5942.447	17173.8	54887.1316	32.6545	45.543	36.10638	0.769	15.95	c < Y	II	
0.03026	81.040	0.01402	0.03197	0.01538	0.00122	0.01781		387.903	340.000	243.480	340.000	19593.5	8586.92	6149.235	17173.8	54857.3005	32.2308	45.464	37.33942	0.768	16.49	c < Y	II	
0.03126	81.047	0.01448	0.03302	0.01588	0.00126	0.01840		391.223	340.000	251.987	340.000	19761.2	8586.92	6364.101	17173.8	54810.1411	31.8054	45.376	38.57041	0.767	17.03	c < Y	II	
0.03226	81.056	0.01495	0.03407	0.01638	0.00130	0.01899		394.374	340.000	260.793	340.000	19920.3	8586.92	6586.487	17173.8	54746.9168	31.3781	45.277	39.79948	0.766	17.58	c < Y	II	
0.03326	81.069	0.01541	0.03512	0.01688	0.00135	0.01958		397.368	340.000	269.876	340.000	20071.6	8586.92	6815.888	17173.8	54668.7665	30.9487	45.170	41.02677	0.763	18.12	c < Y	II	
0.03426	81.084	0.01588	0.03616	0.01738	0.00140	0.02017		400.217	340.000	279.219	340.000	20215.5	8586.92	7051.843	17173.8	54576.7195	30.5168	45.054	42.25239	0.761	18.66	c < Y	II	

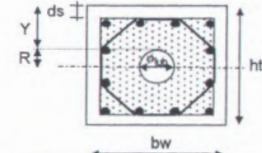
LAMPIRAN IV

Tabel IV.6 : Hasil Perhitungan Analisa Teoritis  
Benda Uji : KSR.2.2

bw = 200 mm	$\epsilon_{y1}$ = 0.0017
ht = 200 mm	$\epsilon_{y2}$ = 0.0210
ds = 20 mm	$\epsilon_{y3}$ = 0.1731
$f_y$ = 340 MPa	$\mu_s$ = 0.0220
$f_{yh}$ = 360 MPa	$\rho_t$ = 0.0455
$f_c$ = 60 MPa	S = 75 mm

$\phi_t$ = 12.68 mm	Y = 70 mm
$\phi_s$ = 7 mm	Y+R = 100 mm
K = 1.1557	Y+ $\phi_{kb}$ = 130 mm
$f_c$ = 69.3399 MPa	Rasio $\phi_{kb}$ = 7.07 %
R = 30 mm	$\epsilon_{cu}$ = 0.00926
$\phi_{kb}$ = 60 mm	

$P_{aksial}$ = 50000 Kg
$P_{aksial}$ = 0,21.fc'.Ag

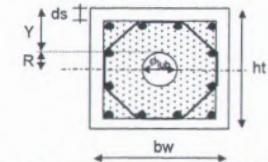


Regangan Tekan Beton	Garis Netral c	Regangan Baja						Regangan Tekan Lubang $\epsilon_{lub}$	Tegangan Tulangan Baja				Kekuatan Tulangan Baja				Gaya Tekan Beton Cc	Zc (mm)	Momen (KN.m)	Kurvatur $\phi$ (1/mm) $\times 10^{-3}$	M/Mmax	Daktilitas Kurvatur $\mu_p$	Posisi Garis Netral	Zona
		$\epsilon_{sp}$	$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\epsilon_{s3}$	$\epsilon_{s4}$	$\epsilon_{s5}$		$T_{s1}$	$T_{s2}$	$T_{s3}$	$T_{s4}$	$T_{s1}$	$T_{s2}$	$T_{s3}$	$T_{s4}$								
0.00132	193.993	0.00102	0.00019	0.00049	0.00079	0.00109	0.00094	37.220	97.734	158.249	218.764	1880	2468.3443	3996.69	11050.1	30604.9098	49.0929	21.477	0.68086	0.353	0.31	c > Y + dlub	I	
0.00176	150.726	0.00125	0.00019	0.00033	0.00085	0.00137	0.00101	37.234	66.614	170.462	274.309	1880.7	1682.3786	4305.12	13855.7	32037.5092	65.8050	32.155	1.16840	0.529	0.53	c > Y + dlub	I	
0.00220	129.112	0.00146	0.00064	0.00112	0.00088	0.00163	0.00109	128.038	23.502	175.043	326.584	6467.4	593.56415	4420.82	16496.2	34956.8479	69.3388	40.397	1.70500	0.665	0.77	c > Y + R	I	
0.00264	119.121	0.00168	0.00105	0.00007	0.00092	0.00190	0.00118	210.844	13.743	183.357	340.000	10650	347.10057	4630.8	17173.8	39192.4704	69.8541	47.031	2.21760	0.774	1.00	c > Y + R	I	
0.00308	113.315	0.00190	0.00145	0.00024	0.00097	0.00218	0.00122	290.173	48.440	193.294	340.000	14657	1223.3716	4881.77	17173.8	43824.7883	70.2140	53.346	2.71978	0.878	1.23	c > Y + R	I	
0.00352	106.977	0.00209	0.00197	0.00050	0.00096	0.00242	0.00117	340.000	100.374	192.261	340.000	17174	2535.0047	4855.67	17173.8	47679.3376	70.6731	58.235	3.29247	0.958	1.48	c > Y + R	I	
0.00396	99.288	0.00223	0.00269	0.00092	0.00086	0.00263	0.00174	340.000	183.034	171.674	340.000	17174	4622.6412	4335.72	17173.8	50286.9162	71.3516	60.767	3.99086	1.000	1.80	c > Y	I	
0.00440	123.863	0.00260	0.00138	0.00005	0.00149	0.00292	0.00187	276.413	10.613	297.639	340.000	13962	268.03912	7617.07	17173.8	39003.0415	66.5867	44.046	3.22937	0.725	1.46	c > Y + R	I	
0.00444	120.954	0.00284	0.00168	0.00005	0.00158	0.00322	0.00195	335.576	9.294	316.988	340.000	16950	234.72073	8005.74	17173.8	42005.5037	65.6783	47.968	3.67104	0.789	1.66	c > Y + R	I	
0.00528	111.035	0.00321	0.00265	0.00053	0.00158	0.00370	0.00205	340.000	106.444	316.467	340.000	17174	2688.3014	7992.57	17173.8	44695.7277	56.0530	50.323	4.75822	0.828	2.15	c > Y + R	I	
0.00628	103.998	0.00366	0.00379	0.00110	0.00158	0.00427	0.00236	340.000	220.180	316.807	340.000	17174	5560.7744	8001.17	17173.8	47559.6000	55.7226	52.411	6.04171	0.862	2.72	c > Y + R	II	
0.00739	102.806	0.00426	0.00459	0.00140	0.00180	0.00499	0.00239	340.000	279.099	340.000	340.000	17174	7048.8174	8586.92	17173.8	48461.8993	40.3118	45.906	7.18826	0.755	3.24	c > Y + R	II	
0.00839	97.813	0.00466	0.00591	0.00209	0.00172	0.00553	0.00237	340.000	340.000	340.000	340.000	17174	8586.9177	8586.92	17173.8	50000.0000	41.6363	47.530	8.57759	0.782	3.87	c > Y	II	
0.00926	94.109	0.00498	0.00714	0.00277	0.00161	0.00598	0.00238	340.000	340.000	321.344	340.000	17174	8586.9177	8115.76	17173.8	50471.1636	41.9037	47.757	9.83965	0.786	4.44	c > Y	II	
0.01026	91.110	0.00538	0.00851	0.00350	0.00150	0.00851	0.00240	340.000	340.000	300.228	340.000	17174	8586.9177	7582.45	17173.8	51004.4701	41.8643	47.842	11.26107	0.787	5.08	c > Y	II	
0.01126	88.920	0.00575	0.00984	0.00422	0.00141	0.00704	0.00243	340.000	340.000	282.127	340.000	17174	8586.9177	7125.31	17173.8	51461.6089	41.6390	47.815	12.66310	0.787	5.71	c > Y	II	
0.01226	87.270	0.00615	0.01115	0.00491	0.00133	0.00758	0.00247	340.000	340.000	266.640	340.000	17174	8586.9177	6734.16	17173.8	51852.7566	41.3188	47.725	14.04834	0.785	6.33	c > Y	II	
0.01326	85.999	0.00655	0.01244	0.00558	0.00127	0.00812	0.00252	340.000	340.000	253.441	340.000	17174	8586.9177	6400.82	17173.8	52186.0937	40.9474	47.595	15.41886	0.783	6.95	c > Y	II	
0.01426	85.000	0.00696	0.01370	0.00624	0.00121	0.00867	0.00257	340.000	340.000	242.267	340.000	17174	8586.9177	6118.61	17173.8	52468.3054	40.5476	47.438	16.77637	0.781	7.57	c > Y	II	
0.01526	84.206	0.00738	0.01494	0.00689	0.00116	0.00922	0.00264	340.000	340.000	232.898	340.000	17174	8586.9177	5881.96	17173.8	52704.9388	40.1318	47.263	18.12228	0.778	8.17	c > Y	II	
0.01626	83.566	0.00780	0.01617	0.00752	0.00113	0.00977	0.00271	340.000	340.000	225.148	340.000	17174	8586.9177	5686.27	17173.8	52900.6512	39.7070	47.073	19.45778	0.775	8.77	c > Y	II	
0.01726	83.045	0.00822	0.01738	0.00814	0.00109	0.01033	0.00279	340.000	340.000	218.863	340.000	17174	8586.9177	5527.52	17173.8	53059.3980	39.2770	46.873	20.78386	0.771	9.37	c > Y	II	
0.01826	82.619	0.00865	0.01857	0.00875	0.00107	0.01089	0.00287	340.000	340.000	213.907	340.000	17174	8586.9177	5402.35	17173.8	53184.5694	38.8443	46.664	22.10140	0.768	9.97	c > Y	II	
0.01926	82.269	0.00908	0.01976	0.00935	0.00105	0.01145	0.00296	340.000	340.000	210.164	340.000	17174	8586.9177	5307.82	17173.8	53279.0967	38.4099	46.448	23.41114	0.764	10.56	c > Y	II	
0.02026	81.979	0.00951	0.02093	0.00995	0.00104	0.01202	0.00308	340.000	340.000	207.533	340.000	17174	8586.9177	5241.38	17173.8	53345.5332	37.9744	46.226	24.71372	0.761	11.14	c > Y	II	
0.02126	81.870	0.00996	0.02202	0.01048	0.00106	0.01260	0.00321	345.792	340.000	212.428	340.000	17466	8586.9177	5385.01	17173.8	53514.4590	37.5411	46.281	25.96793	0.762	11.71	c > Y	II	
0.02226	81.795	0.01042	0.02310	0.01100	0.00109	0.01319	0.00334	351.546	340.000	218.526	340.000	17757	8586.9177	5519	17173.8	53651.0990	37.1084	46.328	27.21442	0.762	12.27	c > Y	II	
0.02326	81.739	0.01088	0.02417	0.01152	0.00113	0.01377	0.00347	356.911	340.000	225.324	340.000	18028	8586.9177	5690.7	17173.8	53750.4061	36.6758	46.351	28.45639	0.763	12.83	c > Y	II	
0.02426	81.699	0.01134	0.02523	0.01203	0.00116	0.01436	0.00361	361.927	340.000	232.765	340.000	18281	8586.9177	5878.63	17173.8	53815.8482	36.2426	46.353	29.69423	0.763	13.39	c > Y	II	
0.02526	81.673	0.01181	0.02629	0.01254	0.00120	0.01495	0.00375	366.628	340.000	240.798	340.000	18519	8586.9177	6081.5	17173.8	53850.4416	35.8082	46.335	30.92827	0.762	13.95	c > Y	II	
0.02626	81.657	0.01227	0.02734	0.01304	0.00125	0.01554	0.00389	371.044	340.000	249.377	340.000	18742	8586.9177	6298.16	17173.8	53856.8260	35.3718	46.299	32.15880	0.762	14.50	c > Y	II	
0.02726	81.651	0.01274	0.02838	0.01354	0.00129	0.01613	0.00403	375.200	340.000	258.461	340.000	18952	8586.9177	6527.61	17173.8	53837.3226	34.9326	46.247	33.38608	0.761	15.06	c > Y	II	
0.02826	81.652	0.01320	0.02942	0.01404	0.00134	0.01672	0.00418	379.120	340.000	268.016	340.000	19150	8586.9177	6768.92	17173.8	53793.9946	34.4898	46.179	34.61034	0.760	15.61	c > Y	II	
0.02926	81.659	0.01367	0.03046	0.01453	0.00139	0.01731	0.00432	382.823	340.000	278.009	340.000	19337	8586.9177	7021.29	17173.8	53728.6550	34.0425	46.097	35.83178	0.759	16.16	c > Y	II	
0.03026	81.672	0.01414	0.03149	0.01502	0.00144	0.01791	0.00447	386.326	340.000	288.410	340.000	19514	8586.9177	7283.97	17173.8	53642.9432	33.5897	46.001	37.05059	0.757	16.71	c > Y	II	
0.03126	81.689	0.01461	0.03252	0.01551	0.00150	0.01850	0.00462	389.647	340.000	299.193	340.000	19682	8586.9177	7556.31	17173.8	53538.3177	33.1306	45.892	38.26695	0.755	17.26	c > Y	II	
0.03226	81.710	0.01509	0.03354	0.01599	0.00155	0.01910	0.00477	392.798	340.000	310.335	340.000	19841	8586.9177	7837.7	17173.8	53416.0925	32.6640	45.771	39.48101	0.753	17.80	c > Y	II	
0.03326	81.734	0.01556	0.03456	0.01647	0.00161	0.01969	0.00493	395.792	340.000	321.813	340.000	19992	8586.9177	8127.59	17173.8	53277.4540	32.1891	45.638	40.69290	0.751	18.35	c > Y	II	
0.03426	81.761	0.01603	0.03558	0.01695	0.00167	0.02029	0.00514	398.641	340.000	333.608	340.000	20136	8586.9177	8425.48	17173.8	53123.4764	31.7047	45.493						

# LAMPIRAN IV

Tabel IV.7 : Hasil Perhitungan Analisa Teoritis  
Benda Uji : KSR.2.3

bw =	200 mm	$\epsilon_y$ =	0.0017	$\phi_1$ =	12.68 mm	Y =	62.5 mm	$P_{aksial}$ =	50000 Kg
ht =	200 mm	$\epsilon_{ub}$ =	0.0210	$\phi_s$ =	7 mm	Y+R =	100 mm	$P_{aksial}$ =	0,21.fc'.Ag
ds =	20 mm	$\epsilon_{su}$ =	0.1731	K =	1.1557	Y+ $\phi_{lub}$ =	137.5 mm		
$f_y$ =	340 MPa	$\rho_s$ =	0.0220	$f_s$ =	69.3399 MPa				
$f_{yb}$ =	360 MPa	$\rho_1$ =	0.0455	R =	37.5 mm	Rasio <sub>lub</sub> =	11.04 %		
$f_c'$ =	60 MPa	S =	75 mm	$\phi_{lub}$ =	75 mm	$\epsilon_{cu}$ =	0.00926		



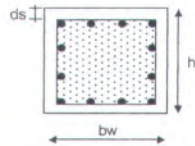
Regangan Tekan Beton	Garis Netral c	Regangan Baja					Regangan Tekan Lubang $\epsilon_{lub}$	Tegangan Tulangan Baja				Kekuatan Tulangan Baja				Gaya Tekan Beton Cc	Zc (mm)	Momen (KN.m)	Kurvatur $\phi$ (1/mm) $\times 10^{-3}$	M/Mmax	Daktilitas Kurvatur $\mu_y$	Posisi Garis Netral	Zone Kurva
		$\epsilon_{sp}$	$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\epsilon_{s3}$	$\epsilon_{s4}$		$f_{s1}$ (MPa)	$f_{s2}$ (MPa)	$f_{s3}$ (MPa)	$f_{s4}$ (MPa)	$T_{s1}$ (Kg)	$T_{s2}$ (Kg)	$T_{s3}$ (Kg)	$T_{s4}$ (Kg)								
$\epsilon_c$	(mm)														(Kg)								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.00132	200.766	0.00103	0.00022	0.00052	0.00081	0.00110	0.00105	44.876	103.350	161.823	220.296	2266.8	2610.16	4086.94	11127.4	29908.7180	50.1331	21.229	0.65789	0.346	0.30	c > Y + dlub	I
0.00176	154.622	0.00127	0.00014	0.00037	0.00088	0.00138	0.00115	27.422	73.809	175.041	276.272	1385.1	1864.1	4420.77	13954.9	31145.3877	69.2507	32.362	1.13897	0.528	0.52	c > Y + dlub	I
0.00220	131.413	0.00147	0.00059	0.00015	0.00090	0.00164	0.00128	118.087	30.800	179.687	328.574	5964.7	777.87	4538.11	16596.7	34052.0573	71.9999	40.392	1.67515	0.659	0.77	c > Y + R	I
0.00264	120.988	0.00169	0.00100	0.00003	0.00094	0.00191	0.00140	199.437	5.378	188.681	340.000	10074	135.829	4765.25	17173.8	38270.5638	72.3774	46.952	2.18338	0.766	1.00	c > Y + R	I
0.00308	114.861	0.00191	0.00139	0.00020	0.00099	0.00219	0.00151	277.972	39.492	198.988	340.000	14041	997.388	5025.58	17173.8	42838.6861	72.6433	53.265	2.68317	0.869	1.23	c > Y + R	I
0.00352	109.177	0.00212	0.00185	0.00042	0.00101	0.00245	0.00151	340.000	84.160	202.579	340.000	17174	2125.52	5116.26	17173.8	47009.2571	72.9273	58.788	3.22614	0.959	1.48	c > Y + R	I
0.00396	100.925	0.00225	0.00258	0.00084	0.00091	0.00265	0.00202	340.000	167.212	181.742	340.000	17174	4223.05	4590.02	17173.8	49633.0285	73.4220	61.296	3.92613	1.000	1.80	c > Y + R	I
0.00400	126.052	0.00262	0.00129	0.00012	0.00153	0.00294	0.00218	267.723	24.319	306.362	340.000	13018	614.198	7737.37	17173.8	37492.5391	58.5262	43.652	3.17330	0.712	1.46	c > Y + R	I
0.00444	122.964	0.00287	0.00158	0.00003	0.00163	0.00324	0.00238	315.572	5.376	326.324	340.000	15940	135.774	8241.52	17173.8	40388.8092	58.5851	47.537	3.61102	0.776	1.65	c > Y + R	I
0.00528	113.640	0.00326	0.00246	0.00040	0.00167	0.00373	0.00258	340.000	79.778	333.437	340.000	17174	2014.83	8421.16	17173.8	43593.6676	58.7943	50.846	4.64913	0.830	2.13	c > Y + R	I
0.00628	105.996	0.00370	0.00360	0.00096	0.00167	0.00431	0.00300	340.000	192.353	334.516	340.000	17174	4858	8448.42	17173.8	46409.5795	58.3737	52.944	5.92787	0.864	2.71	c > Y + R	II
0.00739	105.287	0.00434	0.00431	0.00119	0.00193	0.00505	0.00323	340.000	237.705	340.000	340.000	17174	6003.4	8586.92	17173.8	47416.4844	43.1369	46.592	7.01892	0.760	3.21	c > Y + R	II
0.00839	101.557	0.00480	0.00538	0.00171	0.00196	0.00564	0.00329	340.000	340.000	340.000	340.000	17174	8586.92	8586.92	17173.8	50000.0000	44.5264	48.975	8.26137	0.799	3.78	c > Y + R	II
0.00926	96.972	0.00511	0.00665	0.00241	0.00183	0.00608	0.00338	340.000	340.000	340.000	340.000	17174	8586.92	8586.92	17173.8	50000.0000	44.5468	48.986	9.54915	0.799	4.37	c > Y	II
0.01026	93.176	0.00547	0.00809	0.00320	0.00170	0.00659	0.00351	340.000	340.000	339.065	340.000	17174	8586.92	8563.3	17173.8	50023.6190	44.2960	48.865	11.01141	0.797	5.04	c > Y	II
0.01126	90.850	0.00587	0.00940	0.00389	0.00162	0.00713	0.00366	340.000	340.000	323.973	340.000	17174	8586.92	8182.16	17173.8	50404.7607	43.9365	48.768	12.39410	0.796	5.68	c > Y	II
0.01226	89.106	0.00627	0.01067	0.00456	0.00156	0.00767	0.00382	340.000	340.000	311.668	340.000	17174	8586.92	7871.37	17173.8	50715.5486	43.5066	48.618	13.75889	0.793	6.30	c > Y	II
0.01326	87.769	0.00669	0.01192	0.00520	0.00151	0.00822	0.00398	340.000	340.000	301.828	340.000	17174	8586.92	7622.86	17173.8	50964.0618	43.0435	48.435	15.10782	0.790	6.92	c > Y	II
0.01426	86.726	0.00711	0.01314	0.00584	0.00147	0.00878	0.00416	340.000	340.000	294.191	340.000	17174	8586.92	7429.98	17173.8	51156.9383	42.5646	48.230	16.44259	0.787	7.53	c > Y	II
0.01526	85.901	0.00753	0.01435	0.00645	0.00144	0.00934	0.00434	340.000	340.000	288.538	340.000	17174	8586.92	7287.21	17173.8	51299.7112	42.0781	48.009	17.76461	0.783	8.14	c > Y	II
0.01626	85.242	0.00796	0.01553	0.00705	0.00142	0.00990	0.00453	340.000	340.000	284.684	340.000	17174	8586.92	7189.87	17173.8	51397.0506	41.5874	47.776	19.07506	0.779	8.74	c > Y	II
0.01726	84.712	0.00840	0.01670	0.00764	0.00141	0.01047	0.00472	340.000	340.000	282.471	340.000	17174	8586.92	7133.98	17173.8	51452.9408	41.0936	47.533	20.37496	0.775	9.33	c > Y	II
0.01826	84.283	0.00884	0.01785	0.00822	0.00141	0.01104	0.00492	340.000	340.000	281.763	340.000	17174	8586.92	7116.1	17173.8	51470.8139	40.5963	47.281	21.66519	0.771	9.92	c > Y	II
0.01926	83.934	0.00928	0.01898	0.00879	0.00141	0.01161	0.00512	340.000	340.000	282.443	340.000	17174	8586.92	7133.27	17173.8	51453.6512	40.0943	47.019	22.94650	0.767	10.51	c > Y	II
0.02026	83.651	0.00972	0.02010	0.00934	0.00142	0.01219	0.00534	340.000	340.000	284.406	340.000	17174	8586.92	7182.86	17173.8	51404.0619	39.5858	46.749	24.21956	0.763	11.09	c > Y	II
0.02126	83.452	0.01018	0.02120	0.00988	0.00144	0.01277	0.00558	341.155	340.000	288.978	340.000	17232	8586.92	7298.32	17173.8	51346.9369	39.0716	46.527	25.47584	0.759	11.67	c > Y	II
0.02226	83.403	0.01065	0.02222	0.01036	0.00150	0.01336	0.00582	346.902	340.000	300.177	340.000	17522	8586.92	7581.16	17173.8	51354.4047	38.5566	46.522	26.68953	0.759	12.22	c > Y	II
0.02326	83.367	0.01112	0.02324	0.01084	0.00156	0.01396	0.00607	352.287	340.000	311.757	340.000	17794	8586.92	7873.62	17173.8	51333.9082	38.0251	46.487	27.90076	0.758	12.78	c > Y	II
0.02426	83.340	0.01160	0.02425	0.01132	0.00162	0.01455	0.00631	357.343	340.000	323.673	340.000	18050	8586.92	8174.57	17173.8	51288.3484	37.4762	46.425	29.10984	0.757	13.33	c > Y	II
0.02526	83.320	0.01207	0.02527	0.01179	0.00168	0.01515	0.00661	362.100	340.000	335.886	340.000	18290	8586.92	8483.01	17173.8	51220.2327	36.9089	46.338	30.31701	0.756	13.89	c > Y	II
0.02626	83.543	0.01259	0.02613	0.01216	0.00181	0.01578	0.00695	365.938	340.000	340.000	340.000	18484	8586.92	8586.92	17173.8	51310.1531	36.3567	46.240	31.43287	0.754	14.40	c > Y	II
0.02726	83.896	0.01313	0.02689	0.01245	0.00199	0.01643	0.00730	369.210	340.000	340.000	340.000	18649	8586.92	8586.92	17173.8	51475.4382	35.8072	46.128	32.49266	0.753	14.88	c > Y	II
0.02826	84.260	0.01367	0.02764	0.01273	0.00217	0.01708	0.00765	372.262	340.000	340.000	340.000	18803	8586.92	8586.92	17173.8	51629.5992	35.2436	45.995	33.53915	0.750	15.36	c > Y	II
0.02926	84.634	0.01422	0.02836	0.01299	0.00237	0.01773	0.00801	375.113	340.000	340.000	340.000	18947	8586.92	8586.92	17173.8	51773.5927	34.6653	45.842	34.57256	0.748	15.83	c > Y	II
0.03026	85.017	0.01478	0.02906	0.01324	0.00258	0.01839	0.00838	377.779	340.000	340.000	340.000	19082	8586.92	8586.92	17173.8	51908.2626	34.0714	45.670	35.59308	0.745	16.30	c > Y	II
0.03126	85.408	0.01534	0.02974	0.01347	0.00279	0.01906	0.00876	380.275	340.000	340.000	340.000	19208	8586.92	8586.92	17173.8	52034.3586	33.4611	45.480	36.60090	0.742	16.76	c > Y	II
0.03226	85.807	0.01591	0.03040	0.01369	0.00302	0.01973	0.00915	382.615	340.000	340.000	340.000	19326	8586.92	8586.92	17173.8	52152.5464	32.8336	45.271	37.59618	0.739	17.22	c > Y	II
0.03326	86.213	0.01648	0.03104	0.01389	0.00325	0.02040	0.00953	384.810	340.000	340.000	340.000	19437	8586.92	8586.92	17173.8	52263.4208	32.1879	45.043	38.57908	0.735	17.67	c > Y	II
0.03426	86.601	0.01705	0.03167	0.01409	0																		

**LAMPIRAN V**  
**HASIL PENGOLAHAN DATA UJI EKSPERIMEN**

LAMPIRAN V

Tabel V.1 : Hasil pengolahan data uji eksperimen  
Benda uji KST.1.0

Jarak antar Yokes l = 302 mm  $P_{aksial} = 50000 \text{ Kg}$   
Tinggi antara 2 LVDT h = 307 mm  $P_{aksial} = 0,21 \text{ fc' Ag}$   
Panjang Bentang L = 1.63 m  
1/3.L = 0.54 m



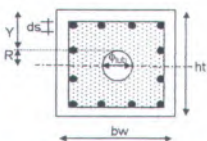
Beban P (Ton)	Lendutan $\Delta$ (mm)	Mp (KN.m)	Ms (KN.m)	Momen Total (KN.m)	M/Mmax	Strain Gauge Beton $\epsilon_c$	LVDT		Kurvatur $\phi$ (1/mm) $\times 10^{-3}$	Regangan Tekan Beton $\epsilon_c$	Regangan Tulangan Baja				Daktiilitas Kurvatur $\mu_p$	Keterangan	
							$\Delta c$ (mm)	$\Delta t$ (mm)			Daerah Tarik $\epsilon_{s1}$ $\epsilon_{s2}$		Daerah Tekan $\epsilon_{s3}$ $\epsilon_{s4}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Tidak Pakai	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00	
1.00	0.33	2.72	0.17	2.88	0.03		0.03	0.01	0.04314	0.00008	0.000004	0.000024	0.000043	0.000062	0.02		
2.00	0.52	5.43	0.26	5.69	0.07	Strain	0.07	0.02	0.09707	0.00018	0.000018	0.000061	0.000104	0.000147	0.04		
3.00	0.83	8.15	0.42	8.57	0.10	Gauge Beton	0.09	0.04	0.14022	0.00022	0.000011	0.000052	0.000114	0.000176	0.06		
4.00	1.09	10.87	0.55	11.41	0.13		0.12	0.06	0.19415	0.00029	0.000030	0.000056	0.000142	0.000229	0.08		
5.00	1.24	13.58	0.62	14.20	0.17		0.13	0.07	0.21572	0.00032	0.000044	0.000051	0.000147	0.000243	0.09		
6.00	1.51	16.30	0.76	17.06	0.20		0.15	0.09	0.25886	0.00036	0.000073	0.000042	0.000157	0.000272	0.10		
7.00	1.85	19.02	0.93	19.94	0.23		0.18	0.12	0.32358	0.00042	0.000116	0.000027	0.000171	0.000315	0.13		
8.00	2.08	21.73	1.04	22.77	0.27		0.20	0.13	0.35593	0.00047	0.000121	0.000037	0.000195	0.000353	0.14		
9.00	2.36	24.45	1.18	25.63	0.30		0.22	0.15	0.39908	0.00051	0.000150	0.000027	0.000205	0.000382	0.16		
10.00	2.61	27.17	1.31	28.47	0.33		0.25	0.18	0.46379	0.00058	0.000193	0.000013	0.000219	0.000425	0.19		
11.00	2.87	29.88	1.44	31.32	0.37		0.29	0.21	0.53929	0.00067	0.000227	0.000013	0.000252	0.000492	0.22		
12.00	3.24	32.60	1.62	34.22	0.40		0.32	0.24	0.60401	0.00074	0.000270	0.000002	0.000267	0.000535	0.24		
13.00	3.57	35.32	1.79	37.10	0.43		0.34	0.26	0.64715	0.00078	0.000299	0.000011	0.000276	0.000564	0.26		
14.00	3.92	38.03	1.96	39.99	0.47		0.37	0.29	0.71187	0.00084	0.000342	0.000026	0.000291	0.000607	0.28		
15.00	4.22	40.75	2.11	42.86	0.50		0.40	0.32	0.77658	0.00091	0.000385	0.000040	0.000305	0.000650	0.31		
<b>16.00</b>	<b>4.60</b>	<b>43.47</b>	<b>2.30</b>	<b>45.77</b>	<b>0.54</b>		<b>0.42</b>	<b>0.34</b>	<b>0.81973</b>	<b>0.00095</b>	<b>0.000414</b>	<b>0.000050</b>	<b>0.000315</b>	<b>0.000679</b>	<b>0.33</b>		<b>Retak 1</b>
17.00	4.84	46.18	2.42	48.60	0.57		0.43	0.35	0.84130	0.00097	0.000428	0.000054	0.000319	0.000693	0.34		Retak 2
18.00	5.19	48.90	2.60	51.50	0.60		0.45	0.37	0.88444	0.00102	0.000457	0.000064	0.000329	0.000722	0.35		Retak 3
19.00	5.57	51.62	2.79	54.40	0.64		0.47	0.41	0.94916	0.00105	0.000533	0.000112	0.000310	0.000732	0.38		Retak 4
20.00	5.80	54.33	2.90	57.23	0.67		0.67	0.59	1.35902	0.00149	0.000773	0.000170	0.000434	0.001038	0.54		Retak 5
21.00	6.61	57.05	3.31	60.36	0.71		0.69	0.61	1.40216	0.00153	0.000802	0.000179	0.000444	0.001067	0.56		Retak 6
22.00	6.94	59.77	3.47	63.24	0.74		0.78	0.69	1.58552	0.00173	0.000908	0.000203	0.000501	0.001206	0.63		Retak 7
23.00	7.78	62.48	3.89	66.37	0.78		0.88	0.82	1.83360	0.00193	0.001123	0.000308	0.000507	0.001322	0.73		Retak 8
24.00	8.18	65.20	4.09	69.29	0.81		0.93	0.87	1.94145	0.00204	0.001195	0.000332	0.000531	0.001394	0.78		Retak 9
25.00	8.82	67.92	4.41	72.33	0.85		1.07	1.01	2.24346	0.00234	0.001396	0.000399	0.000598	0.001595	0.90		Retak 10
<b>26.00</b>	<b>9.58</b>	<b>70.63</b>	<b>4.79</b>	<b>75.42</b>	<b>0.88</b>		<b>1.18</b>	<b>1.14</b>	<b>2.60232</b>	<b>0.00257</b>	<b>0.001602</b>	<b>0.000490</b>	<b>0.000622</b>	<b>0.001734</b>	<b>1.00</b>		<b>Retak 11</b>
27.00	10.67	73.35	5.34	78.69	0.92		1.35	1.39	2.95532	0.00289	0.002036	0.000723	0.000590	0.001904	1.18		Retak 12
28.00	12.19	76.07	6.10	82.16	0.96		1.60	1.74	3.60248	0.00337	0.002633	0.001032	0.000569	0.002170	1.44		Retak 13
<b>29.00</b>	<b>13.50</b>	<b>78.78</b>	<b>6.75</b>	<b>85.53</b>	<b>1.00</b>		<b>2.06</b>	<b>2.51</b>	<b>4.92914</b>	<b>0.00418</b>	<b>0.004031</b>	<b>0.001840</b>	<b>0.000350</b>	<b>0.002541</b>	<b>1.97</b>		
<b>27.00</b>	<b>17.14</b>	<b>73.35</b>	<b>8.57</b>	<b>81.92</b>	<b>0.96</b>		<b>2.71</b>	<b>4.19</b>	<b>7.44224</b>	<b>0.00499</b>	<b>0.007411</b>	<b>0.004104</b>	<b>0.000797</b>	<b>0.002511</b>	<b>2.97</b>		<b>Spalling</b>
25.50	18.51	69.28	9.26	78.53	0.92		3.01	4.61	8.21882	0.00557	0.008128	0.004475	0.000823	0.002830	3.28		
<b>24.00</b>	<b>19.56</b>	<b>65.20</b>	<b>9.78</b>	<b>74.98</b>	<b>0.88</b>		<b>3.73</b>	<b>4.86</b>	<b>9.26505</b>	<b>0.00739</b>	<b>0.008047</b>	<b>0.003930</b>	<b>0.000188</b>	<b>0.004305</b>	<b>3.70</b>		
22.50	20.73	61.13	10.37	71.49	0.84		4.46	5.16	10.37599	0.00922	0.008076	0.003464	0.001147	0.005758	4.15		
22.00	21.94	59.77	10.97	70.74	0.83		5.71	5.49	12.08016	0.01244	0.007688	0.002320	0.003048	0.008417	4.83		
20.50	23.34	55.69	11.67	67.36	0.79		6.16	5.89	12.99696	0.01344	0.008217	0.002441	0.003335	0.009111	5.19		
18.00	25.06	48.90	12.53	61.43	0.72		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
17.50	26.61	47.54	13.31	60.85	0.71		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
17.50	28.18	47.54	14.09	61.63	0.72		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
16.00	29.29	43.47	14.65	58.11	0.68		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
15.50	30.77	42.11	15.39	57.49	0.67		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
15.00	31.22	40.75	15.61	56.36	0.66		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
14.00	33.06	38.03	16.53	54.56	0.64		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
14.00	34.96	38.03	17.48	55.51	0.65		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
13.50	35.94	36.68	17.97	54.65	0.64		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
13.00	37.36	35.32	18.68	54.00	0.63		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
12.50	38.61	33.96	19.31	53.26	0.62		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
12.00	39.08	32.60	19.54	52.14	0.61		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
11.00	40.04	29.88	20.02	49.90	0.58		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
10.00	41.31	27.17	20.66	47.82	0.56		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
8.00	42.36	21.73	21.18	42.91	0.50		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
7.00	43.29	19.02	21.65	40.66	0.48		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
7.00	44.25	19.02	22.13	41.14	0.48		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
7.00	45.63	19.02	22.82	41.83	0.49		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
7.00	46.37	19.02	23.19	42.20	0.49		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
7.00	47.56	19.02	23.78	42.80	0.50		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
7.00	48.49	19.02	24.25	43.26	0.51		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
7.00	49.41	19.02	24.71	43.72	0.51		x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Ket : x : data tidak terekam karena jarum LVDT terlepas

LAMPIRAN V

Tabel V.2 : Hasil pengolahan data uji eksperimen Benda uji KST.1.1

Jarak antar Yokes  $I = 300 \text{ mm}$   $P_{aksi} = 50000 \text{ Kg}$   
 Tinggi antara 2 LVDT  $h = 310 \text{ mm}$   $P_{aksi} = 0,21 \text{ ft}^2/\text{Ag}$   
 Panjang Bentang  $L = 1,63 \text{ m}$   
 $1/3 L = 0,54 \text{ m}$



Beban P (Ton)	Lendutan Δ (mm)	Mp (KN.m)	Ms (KN.m)	Momen Total (KN.m)	M/Mmax	Strain Gauge Beton $\epsilon_e$	LVDT		Kurvatur $\phi$ (1/mm) $\times 10^{-2}$	Regangan Tekan Beton $\epsilon_c$	Regangan Daerah Tarik		Regangan Daerah Tekan		Daktilitas Kurvatur $\mu_p$	Keterangan
							$\Delta_c$ (mm)	$\Delta_t$ (mm)			$\epsilon_{d1}$	$\epsilon_{d2}$	$\epsilon_{d3}$	$\epsilon_{d4}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000000	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	
1.00	0.37	2.717	0.185	2.902	0.03	0.000089	0.01	0.01	0.02151	0.00002	0.00001	0.00000	0.00000	0.00001	0.01	
2.00	0.51	5.433	0.255	5.888	0.07	0.000126	0.04	0.04	0.08602	0.00009	0.00006	0.00002	0.00002	0.00006	0.04	
3.00	0.89	8.150	0.445	8.595	0.10	0.000157	0.05	0.05	0.10753	0.00011	0.00007	0.00002	0.00002	0.00007	0.05	
4.00	1.21	10.867	0.605	11.472	0.14	0.000181	0.06	0.06	0.12903	0.00013	0.00009	0.00003	0.00003	0.00009	0.06	
5.00	1.38	13.583	0.890	14.273	0.17	0.000213	0.07	0.08	0.16129	0.00014	0.00012	0.00005	0.00002	0.00009	0.07	
6.00	1.54	16.300	0.770	17.070	0.20	0.000242	0.11	0.10	0.22581	0.00024	0.00013	0.00003	0.00007	0.00017	0.10	
7.00	1.92	19.017	0.980	19.977	0.24	0.000298	0.12	0.11	0.24731	0.00026	0.00015	0.00004	0.00007	0.00018	0.11	
8.00	2.16	21.733	1.080	22.813	0.27	0.000362	0.14	0.13	0.29032	0.00031	0.00018	0.00005	0.00008	0.00021	0.13	
9.00	2.47	24.450	1.235	25.685	0.31	0.000418	0.16	0.15	0.33333	0.00035	0.00021	0.00006	0.00009	0.00024	0.15	
10.00	2.72	27.167	1.390	28.527	0.34	0.000471	0.19	0.17	0.38710	0.00042	0.00022	0.00006	0.00012	0.00029	0.17	
11.00	3.04	29.883	1.520	31.403	0.38	0.00054	0.22	0.20	0.45161	0.00048	0.00027	0.00007	0.00013	0.00033	0.20	
12.00	3.31	32.600	1.655	34.255	0.41	0.000595	0.25	0.23	0.51613	0.00055	0.00031	0.00008	0.00015	0.00038	0.23	
13.00	3.54	35.317	1.770	37.087	0.44	0.000646	0.27	0.25	0.59914	0.00059	0.00034	0.00009	0.00016	0.00041	0.25	
14.00	3.81	38.033	1.905	39.938	0.48	0.000709	0.30	0.28	0.62366	0.00066	0.00038	0.00011	0.00017	0.00045	0.27	
15.00	4.07	40.750	2.035	42.785	0.51	0.000775	0.32	0.32	0.88817	0.00069	0.00046	0.00015	0.00015	0.00046	0.30	
16.00	4.31	43.467	2.155	45.622	0.55	0.000838	0.35	0.35	0.75269	0.00075	0.00050	0.00017	0.00017	0.00046	0.33	
17.00	4.53	46.183	2.265	48.448	0.58	0.000902	0.37	0.38	0.80645	0.00079	0.00055	0.00020	0.00016	0.00052	0.36	Retak 1
18.00	5.10	48.900	2.550	51.450	0.62	0.000989	0.41	0.43	0.90323	0.00087	0.00064	0.00023	0.00017	0.00057	0.40	Retak 2
19.00	5.30	51.617	2.650	54.267	0.65	0.001091	0.45	0.49	1.01075	0.00094	0.00074	0.00029	0.00016	0.00061	0.45	Retak 2
20.00	5.85	54.333	2.925	57.258	0.69	0.001185	0.49	0.55	1.11828	0.00102	0.00085	0.00035	0.00015	0.00065	0.49	
21.00	6.10	57.050	3.050	60.100	0.72	0.001265	0.53	0.60	1.21505	0.00110	0.00093	0.00039	0.00015	0.00069	0.54	
22.00	6.40	59.767	3.200	62.967	0.75	0.001363	0.57	0.66	1.32258	0.00117	0.00103	0.00044	0.00014	0.00073	0.58	
23.00	6.93	62.483	3.465	65.948	0.79	0.00156	0.66	0.79	1.55914	0.00134	0.00126	0.00056	0.00013	0.00082	0.69	Retak 3
24.00	7.46	65.200	3.730	68.930	0.83	0.001737	0.73	0.89	1.74194	0.00148	0.00143	0.00065	0.00012	0.00089	0.77	Retak 4
25.00	8.04	67.917	4.020	71.937	0.86	0.001912	0.80	1.00	1.93548	0.00160	0.00162	0.00078	0.00010	0.00096	0.85	Retak 5
26.00	8.47	70.633	4.235	74.868	0.90	0.002034	0.86	1.05	2.05376	0.00174	0.00169	0.00077	0.00014	0.00105	0.91	Retak 6
27.00	9.85	73.350	4.925	78.275	0.94	0.002215	0.94	1.17	2.26882	0.00189	0.00190	0.00089	0.00012	0.00113	1.00	Retak 7
27.50	10.09	74.708	5.045	79.753	0.96	0.002494	1.08	1.40	2.66667	0.00213	0.00231	0.00113	0.00006	0.00124	1.18	Retak 8
28.00	10.93	76.067	5.485	81.532	0.98	0.002597	1.29	1.64	3.15054	0.00257	0.00268	0.00128	0.00012	0.00152	1.39	Retak 9
28.50	12.08	77.425	6.040	83.465	1.00	0.0028	1.41	2.02	3.68817	0.00267	0.00348	0.00184	0.00020	0.00144	1.63	Retak 10
27.50	13.53	74.708	6.765	81.473	0.98	0.0032	1.93	3.16	5.47312	0.00342	0.00570	0.00327	0.00083	0.00160	2.41	
25.50	15.89	69.275	7.945	77.220	0.93	0.0038	2.39	4.04	6.91398	0.00416	0.00736	0.00429	0.00121	0.00186	3.05	Spalling
23.00	17.09	62.483	8.545	71.028	0.85	x	3.69	4.59	8.90323	0.00740	0.00743	0.00348	0.00048	0.00443	3.92	
22.00	18.30	58.408	9.150	67.558	0.81	x	3.94	5.19	9.81720	0.00773	0.00863	0.00428	0.00010	0.00446	4.33	
21.50	19.14	57.050	9.570	66.620	0.80	x	4.14	5.65	10.52688	0.00801	0.00953	0.00466	0.00018	0.00450	4.64	
21.00	20.31	55.692	10.155	65.847	0.79	x	4.29	6.02	11.08902	0.00820	0.01027	0.00535	0.00042	0.00451	4.89	
20.50	21.57	54.333	10.785	65.118	0.78	x	4.54	6.46	11.82796	0.00863	0.01108	0.00583	0.00057	0.00468	5.21	
20.00	23.77	52.975	11.885	64.860	0.78	x	4.99	7.02	12.91398	0.00953	0.01199	0.00625	0.00051	0.00523	5.69	
19.00	25.92	51.617	12.960	64.577	0.77	x	5.39	7.52	13.88172	0.01033	0.01280	0.00663	0.00047	0.00570	6.12	
18.50	28.89	50.258	13.445	63.703	0.76	x	5.84	8.02	14.90323	0.01127	0.01357	0.00694	0.00032	0.00630	6.57	
18.00	27.50	48.900	13.750	62.650	0.75	x	6.13	8.48	15.70968	0.01179	0.01439	0.00741	0.00043	0.00656	6.92	
17.00	28.80	46.183	14.400	60.583	0.73	x	6.59	9.19	16.96774	0.01263	0.01564	0.00810	0.00056	0.00696	7.48	
16.50	29.85	44.825	14.925	59.750	0.72	x	6.96	9.74	17.95699	0.01332	0.01660	0.00862	0.00064	0.00734	7.91	
16.00	32.00	43.467	16.000	59.467	0.71	x	7.27	10.04	18.61290	0.01400	0.01702	0.00875	0.00048	0.00779	8.20	
15.50	33.53	42.108	16.765	58.873	0.71	x	7.69	10.54	19.80215	0.01485	0.01782	0.00911	0.00039	0.00832	8.64	
15.00	35.69	40.750	17.845	58.595	0.70	x	8.11	11.14	20.99892	0.01565	0.01885	0.00965	0.00045	0.00875	9.12	
13.50	37.83	36.875	18.915	55.590	0.67	x	8.59	11.64	21.75269	0.01667	0.01958	0.00992	0.00025	0.00942	9.59	
13.00	38.11	35.317	19.055	54.372	0.65	x	9.00	11.94	22.51613	0.01762	0.01991	0.00990	0.00010	0.01011	9.92	

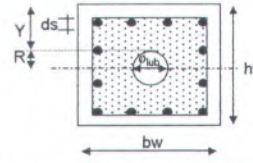
Ket : x : data tidak terekam karena strain gauge beton putus



LAMPIRAN V

Tabel V.3 : Hasil pengolahan data uji eksperimen Benda uji KST.1.2

Jarak antar Yokes l = 292 mm P<sub>paksial</sub> = 50000 Kg  
 Tinggi antara 2 LVDT h = 308 mm P<sub>paksial</sub> = 0,21.f<sub>c</sub>.Ag  
 Panjang Bentang L = 1.63 m  
 1/3.L = 0.54 m



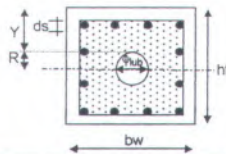
Beban P (Ton)	Lendutan Δ (mm)	Mp (KN.m)	Ms (KN.m)	Momen Total (KN.m)	M/Mmax	Strain Gauge Beton ε <sub>c</sub>	LVDT		Kurvatur φ (1/mm) x10 <sup>-3</sup>	Regangan Tekan Beton ε <sub>c</sub>	Regangan Tulangan Baja				Daktilitas Kurvatur μ <sub>g</sub>	Keterangan
							Δc (mm)	Δt (mm)			Daerah Tarik ε <sub>s1</sub> ε <sub>s2</sub>		Daerah Tekan ε <sub>s3</sub> ε <sub>s4</sub>			
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	Tidak	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	
3.00	0.74	8.150	0.368	8.518	0.11	pakai	0.04	0.02	0.06671	0.00010	0.00001	0.00002	0.00005	0.00008	0.02	
5.00	1.28	13.583	0.638	14.221	0.18	Strain	0.10	0.06	0.17790	0.00025	0.00005	0.00003	0.00011	0.00019	0.05	
7.00	2.62	19.017	1.310	20.327	0.25	Gauge	0.16	0.10	0.28909	0.00039	0.00009	0.00004	0.00017	0.00030	0.09	
9.50	3.24	25.808	1.618	27.426	0.34	Beton	0.23	0.14	0.41140	0.00057	0.00012	0.00006	0.00025	0.00043	0.12	
11.50	3.84	31.242	1.920	33.162	0.41		0.30	0.20	0.55595	0.00073	0.00020	0.00005	0.00029	0.00054	0.17	
13.80	4.51	37.490	2.255	39.745	0.49		0.37	0.27	0.71162	0.00088	0.00030	0.00001	0.00033	0.00065	0.21	
16.00	5.21	43.467	2.605	46.072	0.57		0.47	0.37	0.93400	0.00111	0.00045	0.00004	0.00038	0.00079	0.28	
18.00	5.92	48.900	2.960	51.860	0.64		0.58	0.49	1.18973	0.00134	0.00064	0.00011	0.00042	0.00095	0.36	Retak 1
20.00	6.90	54.333	3.448	57.781	0.72		0.73	0.66	1.54554	0.00167	0.00091	0.00022	0.00046	0.00115	0.46	Retak 2
22.25	7.93	60.446	3.963	64.408	0.80		0.89	0.83	1.91247	0.00202	0.00117	0.00032	0.00053	0.00138	0.58	Retak 3
24.25	9.16	65.879	4.578	70.457	0.87		1.09	1.04	2.36835	0.00245	0.00149	0.00044	0.00061	0.00166	0.71	Retak 4
26.50	10.19	71.992	5.093	77.084	0.96		1.46	1.53	3.32459	0.00320	0.00234	0.00086	0.00062	0.00210	1.00	Retak 5
27.00	14.54	73.350	7.270	80.620	1.00		2.07	2.47	5.04803	0.00436	0.00405	0.00181	0.00044	0.00268	1.52	
25.75	16.43	69.954	8.213	78.167	0.97		2.38	3.31	6.32672	0.00473	0.00581	0.00300	0.00019	0.00262	1.90	Spalling
22.50	16.48	61.125	8.240	69.365	0.86		3.16	3.43	7.32743	0.00687	0.00535	0.00209	0.00117	0.00442	2.20	
21.50	17.02	58.408	8.510	66.918	0.83		3.48	4.06	8.38374	0.00739	0.00658	0.00286	0.00087	0.00460	2.52	
21.00	17.81	57.050	8.905	65.955	0.82		3.74	4.63	9.30662	0.00778	0.00773	0.00359	0.00054	0.00468	2.80	
19.50	18.78	52.975	9.390	62.365	0.77		4.00	5.08	10.09607	0.00825	0.00858	0.00409	0.00039	0.00488	3.04	
17.50	19.85	47.542	9.925	57.467	0.71		4.54	5.93	11.64161	0.00926	0.01014	0.00497	0.00021	0.00538	3.50	
16.50	x	44.825	x	x	x		5.11	6.90	13.35394	0.01029	0.01197	0.00603	0.00010	0.00584	4.02	
16.00	x	43.467	x	x	x		5.31	7.20	13.90989	0.01067	0.01251	0.00633	0.00015	0.00604	4.18	
15.50	x	42.108	x	x	x		5.50	7.56	14.52144	0.01099	0.01321	0.00675	0.00030	0.00615	4.37	
15.00	x	40.750	x	x	x		6.00	8.03	15.59998	0.01212	0.01387	0.00694	0.00001	0.00692	4.69	
14.00	x	38.033	x	x	x		6.70	8.81	17.24560	0.01363	0.01511	0.00744	0.00022	0.00788	5.19	
13.00	x	35.317	x	x	x		7.02	9.75	18.64659	0.01397	0.01710	0.00882	0.00053	0.00776	5.61	

Ket : x : data lendutan tidak terekam

### LAMPIRAN V

Tabel V.4 : Hasil pengolahan data uji eksperimen Benda uji KST.1.3

Jarak antar Yokes  $l =$  308 mm      $P_{aksial} =$  50000 Kg  
 Tinggi antara 2 LVDT  $h =$  308 mm      $P_{aksial} =$  0,21 tc Ag  
 Panjang Bentang  $L =$  1,63 m  
 $1/3 L =$  0,54 m

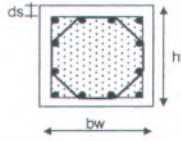


Beban P (Ton)	Lendutan Δ (mm)	Mp (KN.m)	Ms (KN.m)	Momen Total (KN.m)	M/Mmax	Strain Gauge Beton	LVDT		Kurvatur φ (1/mm) x10 <sup>3</sup>	Regangan Tekan Beton ε <sub>c</sub>	Regangan Tulangan Baja Daerah Tarik				Daktilitas Kurvatur μ <sub>p</sub>	Keterangan
							Δc (mm)	Δt (mm)			Daerah Tekan					
											ε <sub>s1</sub>	ε <sub>s2</sub>	ε <sub>s3</sub>	ε <sub>s4</sub>		
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	Tidak pakai	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.00	
1.00	0.02	2.717	0.010	2.727	0.03	Strain	0.03	0.01	0.04217	0.00007	0.0000044	0.0000231	0.0000418	0.0000606	0.02	
2.00	0.20	5.433	0.100	5.533	0.07	Gauge	0.05	0.02	0.07379	0.00012	0.0000005	0.0000323	0.0000651	0.0000979	0.04	
3.00	0.48	8.150	0.240	8.390	0.11	Beton	0.07	0.03	0.10541	0.00017	0.0000053	0.0000415	0.0000884	0.0001352	0.06	
4.00	0.82	10.867	0.410	11.277	0.14		0.10	0.05	0.15812	0.00024	0.0000242	0.0000460	0.0001163	0.0001866	0.09	
5.00	1.11	13.583	0.555	14.138	0.18		0.13	0.08	0.22137	0.00030	0.0000664	0.0000320	0.0001304	0.0002287	0.12	
6.00	1.43	16.300	0.715	17.015	0.22		0.15	0.10	0.26354	0.00034	0.0000945	0.0000226	0.0001397	0.0002568	0.15	
7.00	1.72	19.017	0.860	19.877	0.25		0.17	0.12	0.30570	0.00039	0.0001226	0.0000132	0.0001491	0.0002849	0.17	
8.00	2.03	21.733	1.015	22.748	0.29		0.20	0.14	0.35841	0.00046	0.0001415	0.0000178	0.0001770	0.0003363	0.20	
9.00	2.29	24.450	1.145	25.595	0.33		0.22	0.16	0.40557	0.00050	0.0001696	0.0000084	0.0001864	0.0003644	0.22	
10.00	2.67	27.167	1.335	28.502	0.37		0.26	0.20	0.48490	0.00058	0.0002258	0.0000103	0.0002051	0.0004206	0.27	
11.00	2.73	29.883	1.365	31.248	0.40		0.28	0.22	0.52707	0.00062	0.0002539	0.0000197	0.0002145	0.0004487	0.29	
12.00	3.24	32.600	1.620	34.220	0.44		0.31	0.25	0.59032	0.00069	0.0002961	0.0000338	0.0002286	0.0004909	0.33	
13.00	3.80	35.317	1.900	37.217	0.48		0.37	0.30	0.70627	0.00082	0.0003572	0.0000433	0.0002706	0.0005844	0.39	
14.00	4.11	38.033	2.055	40.088	0.51		0.40	0.33	0.76952	0.00088	0.0003993	0.0000574	0.0002846	0.0006266	0.43	
15.00	4.51	40.750	2.255	43.005	0.55		0.44	0.38	0.86440	0.00096	0.0004788	0.0000947	0.0002895	0.0006736	0.48	Retak 1
16.00	5.04	43.467	2.520	45.987	0.59		0.51	0.45	1.01198	0.00111	0.0005772	0.0001275	0.0003223	0.0007720	0.56	Retak 2
17.00	5.62	46.183	2.810	48.993	0.63		0.58	0.52	1.15955	0.00126	0.0006756	0.0001603	0.0003551	0.0008704	0.64	Retak 3
18.00	6.05	48.900	3.025	51.925	0.67		0.63	0.57	1.28497	0.00136	0.0007458	0.0001837	0.0003785	0.0009406	0.70	Retak 4
19.00	6.68	51.617	3.340	54.957	0.70		0.70	0.62	1.39147	0.00152	0.0007977	0.0001793	0.0004391	0.0010574	0.77	Retak 5
20.00	7.24	54.333	3.620	57.953	0.74		0.76	0.63	1.48526	0.00168	0.0007857	0.0001145	0.0005366	0.0011878	0.81	Retak 6
21.00	7.68	57.050	3.840	60.890	0.78		0.81	0.64	1.52850	0.00180	0.0007429	0.0000637	0.0006156	0.0012949	0.85	Retak 7
22.00	8.70	59.767	4.350	64.117	0.82		0.93	0.65	1.66554	0.00212	0.0006557	0.0000845	0.0008246	0.0015648	0.92	Retak 8
23.00	9.92	62.483	4.958	67.441	0.86		1.05	0.66	1.80258	0.00244	0.0005685	0.0002326	0.0010337	0.0018347	1.00	
24.00	11.55	65.200	5.775	70.975	0.91		1.17	0.68	1.95016	0.00275	0.0005045	0.0003621	0.0012288	0.0020954	1.08	Retak 9
25.00	12.15	67.917	6.075	73.992	0.95		1.43	0.85	2.40344	0.00334	0.0006806	0.0004075	0.0014756	0.0025437	1.33	Retak 10
26.00	14.68	70.633	7.340	77.973	1.00		1.77	1.21	3.14134	0.00405	0.0011849	0.0002111	0.0016071	0.0030031	1.74	Retak 11
23.00	16.20	62.483	8.100	70.583	0.91		2.32	1.27	3.78436	0.00549	0.0008181	0.0008637	0.0025454	0.0042272	2.10	Spalling
21.00	17.25	57.050	8.625	65.675	0.84		2.97	1.39	4.59605	0.00716	0.0004988	0.0015437	0.0035862	0.0056287	2.55	
20.00	18.50	54.333	9.615	63.948	0.82		3.07	1.45	4.76472	0.00739	0.0005463	0.0015712	0.0036886	0.0058060	2.64	
19.50	20.13	52.975	10.065	63.040	0.81		3.17	1.56	4.98609	0.00760	0.0007101	0.0015057	0.0037215	0.0059374	2.77	
18.50	21.18	50.258	10.590	60.848	0.78		3.37	1.66	5.30233	0.00808	0.0007586	0.0015978	0.0039542	0.0063105	2.94	
18.00	22.35	48.900	11.175	60.075	0.77		3.57	1.98	5.85048	0.00843	0.0013188	0.0012812	0.0038811	0.0064811	3.25	
17.75	23.27	48.221	11.635	59.856	0.77		3.77	2.11	6.19835	0.00889	0.0014370	0.0013175	0.0040721	0.0068266	3.44	
17.25	24.30	46.863	12.150	59.013	0.76		3.97	2.21	6.51459	0.00937	0.0014855	0.0014096	0.0043047	0.0071998	3.61	
16.75	25.18	45.504	12.590	58.094	0.75		4.17	2.41	6.93625	0.00979	0.0017666	0.0013159	0.0043984	0.0074808	3.85	
16.00	26.20	43.467	13.100	56.567	0.73		4.37	2.61	7.35790	0.01022	0.0020476	0.0012222	0.0044921	0.0077619	4.08	
15.50	27.36	42.108	13.680	55.788	0.72		4.57	2.91	7.88497	0.01058	0.0025613	0.0009428	0.0044468	0.0079509	4.37	
15.00	28.33	40.750	14.165	54.915	0.70		4.77	3.11	8.30663	0.01100	0.0028424	0.0008491	0.0045405	0.0082320	4.61	
15.00	29.35	40.750	14.675	55.425	0.71		4.97	3.41	8.83370	0.01137	0.0033561	0.0005696	0.0044953	0.0084210	4.90	
14.75	30.28	40.071	15.140	55.211	0.71		5.17	3.79	9.44510	0.01169	0.0040558	0.0001416	0.0043390	0.0085364	5.24	
14.00	31.20	38.033	15.600	53.633	0.69		5.37	4.13	10.01434	0.01203	0.0046626	0.0002122	0.0042382	0.0086885	5.56	
13.75	32.22	37.354	16.110	53.464	0.69		5.57	4.57	10.68889	0.01231	0.0055019	0.0007517	0.0039985	0.0087487	5.93	
13.50	33.28	36.675	16.640	53.315	0.68		5.77	4.93	11.27931	0.01264	0.0061551	0.0011426	0.0038699	0.0088824	6.26	
13.00	34.33	35.317	17.165	52.482	0.67		5.97	5.26	11.83800	0.01299	0.0067386	0.0014778	0.0037830	0.0090438	6.57	
12.00	35.68	32.600	17.840	50.440	0.65		6.17	5.59	12.39669	0.01334	0.0073221	0.0018130	0.0036961	0.0092052	6.88	
12.00	36.75	32.600	18.375	50.975	0.65		6.37	5.72	12.74456	0.01380	0.0074403	0.0017766	0.0038870	0.0095507	7.07	
11.75	37.83	31.921	18.915	50.836	0.65		6.57	5.96	13.20838	0.01420	0.0078144	0.0019446	0.0039252	0.0097950	7.33	
11.00	38.11	29.883	19.055	48.938	0.63		6.77	6.17	13.64056	0.01461	0.0081188	0.0020569	0.0040050	0.0100568	7.57	

LAMPIRAN V

Tabel V.5 : Hasil pengolahan data uji eksperimen  
Benda uji KSR.2.0

Jarak antar Yokes I = 302 mm P<sub>aksial</sub> = 50000 Kg  
 Tinggi antara 2 LVDT h = 308 mm P<sub>aksial</sub> = 0,21.fc' Ag  
 Panjang Bentang L = 1.63 m  
 1/3.L = 0.54 m



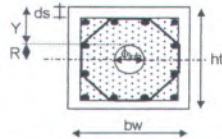
Beban P (Ton)	Lendutan $\Delta$ (mm)	Mp (KN.m)	Ms (KN.m)	Momen Total (KN.m)	M/Mmax	Strain Gauge Beton $\epsilon_c$	LVDT		Kurvatur $\phi$ (1/mm) $\times 10^{-4}$	Regangan Teban Beton $\epsilon_c$	Regangan Tulangan Baja				Daktilitas Kurvatur $\mu_p$	Keterangan	
							$\Delta c$ (mm)	$\Delta t$ (mm)			Daerah Tarik		Daerah Tekan				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00	
1.00	0.27	2.72	0.14	2.85	0.03	0.000038	0.01	0.01	0.02150	0.00002	0.000014	0.000005	0.000005	0.000005	0.000014	0.01	
2.00	0.44	5.43	0.22	5.65	0.07	0.000060	0.02	0.02	0.04300	0.00004	0.000029	0.000010	0.000010	0.000010	0.000029	0.02	
3.00	0.77	8.15	0.39	8.54	0.10	0.000098	0.05	0.03	0.08601	0.00012	0.000024	0.000014	0.000014	0.000014	0.000024	0.04	
4.00	1.10	10.87	0.56	11.42	0.14	0.000138	0.07	0.05	0.12901	0.00016	0.000053	0.000014	0.000014	0.000014	0.000119	0.06	
5.00	1.49	13.58	0.75	14.33	0.17	0.000192	0.09	0.07	0.17201	0.00021	0.000082	0.000005	0.000005	0.000005	0.000148	0.08	
6.00	1.82	16.30	0.91	17.21	0.20	0.000247	0.13	0.09	0.23652	0.00030	0.000091	0.000014	0.000014	0.000014	0.000224	0.12	
7.00	2.05	19.02	1.03	20.04	0.24	0.000289	0.15	0.11	0.27952	0.00035	0.000120	0.000004	0.000014	0.000014	0.000253	0.14	
8.00	2.30	21.73	1.15	22.88	0.27	0.000330	0.17	0.13	0.32253	0.00039	0.000149	0.000005	0.000014	0.000014	0.000281	0.16	
9.00	2.64	24.45	1.32	25.77	0.31	0.000389	0.20	0.15	0.37628	0.00046	0.000168	0.000001	0.000014	0.000014	0.000334	0.18	
10.00	2.93	27.17	1.47	28.63	0.34	0.000444	0.22	0.19	0.44078	0.00049	0.000244	0.000004	0.000014	0.000014	0.000343	0.21	
11.00	3.20	29.88	1.60	31.48	0.37	0.000484	0.25	0.22	0.50529	0.00055	0.000287	0.000003	0.000014	0.000014	0.000386	0.25	
12.00	3.47	32.60	1.74	34.34	0.41	0.000564	0.28	0.26	0.58055	0.00061	0.000354	0.000096	0.000014	0.000014	0.000420	0.28	
13.00	3.76	35.32	1.88	37.20	0.44	0.000633	0.31	0.31	0.66655	0.00067	0.000444	0.000148	0.000014	0.000014	0.000444	0.32	
14.00	4.06	38.03	2.03	40.06	0.48	0.000703	0.34	0.35	0.74181	0.00073	0.000511	0.000181	0.000148	0.000148	0.000478	0.36	Retak 1
15.00	4.38	40.75	2.19	42.94	0.51	0.000799	0.38	0.42	0.86007	0.00079	0.000640	0.000257	0.000125	0.000125	0.000507	0.42	Retak 2
16.00	4.82	43.47	2.41	45.88	0.55	0.000895	0.43	0.49	0.98908	0.00089	0.000759	0.000319	0.000120	0.000120	0.000560	0.48	Retak 3
17.00	5.30	46.18	2.65	48.83	0.58	0.001002	0.49	0.57	1.13959	0.00101	0.000892	0.000386	0.000121	0.000121	0.000627	0.55	Retak 4
18.00	5.82	48.90	2.91	51.81	0.62	0.001115	0.55	0.66	1.30085	0.00112	0.001049	0.000471	0.000107	0.000107	0.000685	0.63	Retak 5
19.00	6.33	51.62	3.17	54.78	0.65	0.001224	0.61	0.75	1.46211	0.00123	0.001206	0.000557	0.000093	0.000093	0.000743	0.71	Retak 6
20.00	6.76	54.33	3.38	57.71	0.69	0.001314	0.66	0.63	1.60187	0.00132	0.001349	0.000637	0.000074	0.000074	0.000786	0.78	Retak 7
21.00	7.27	57.05	3.64	60.69	0.72	0.001412	0.71	0.88	1.70938	0.00143	0.001421	0.000661	0.000098	0.000098	0.000858	0.83	Retak 8
22.00	7.68	59.77	3.84	63.61	0.76	0.001494	0.76	0.94	1.82764	0.00153	0.001516	0.000704	0.000108	0.000108	0.000920	0.89	Retak 9
23.00	8.37	62.48	4.19	66.67	0.79	0.001623	0.84	1.07	2.06341	0.00167	0.001750	0.000837	0.000075	0.000075	0.000988	1.00	Retak 10
24.00	9.40	65.20	4.70	69.90	0.83	0.001807	0.96	1.29	2.41894	0.00187	0.002159	0.001084	0.000009	0.000009	0.001066	1.18	Retak 11
25.00	10.25	67.92	5.13	73.04	0.87	0.001905	1.07	1.46	2.71996	0.00207	0.002459	0.001250	0.000041	0.000041	0.001167	1.32	Retak 12
26.00	11.60	70.63	5.80	76.43	0.91	0.002047	1.24	1.74	3.20375	0.00238	0.002963	0.001540	0.000116	0.000116	0.001308	1.56	Retak 13
27.00	13.52	73.35	6.76	80.11	0.95	0.002398	1.49	2.09	3.84880	0.00286	0.003559	0.001849	0.000138	0.000138	0.001572	1.87	Retak 14
28.00	15.90	76.07	7.95	84.02	1.00	0.002815	1.80	2.65	4.78412	0.00338	0.004596	0.002470	0.000344	0.000344	0.001782	2.33	Retak 15
27.00	17.00	73.35	8.50	81.85	0.97	0.002961	2.17	2.93	5.48293	0.00422	0.004913	0.002477	0.000040	0.000040	0.002397	2.67	
26.00	18.25	70.63	9.13	79.76	0.95	0.003222	2.40	3.45	6.28924	0.00455	0.005931	0.003136	0.000341	0.000341	0.002454	3.06	Spalling
23.00	21.18	62.48	10.59	73.07	0.87	x	4.31	4.77	9.76176	0.00900	0.007269	0.002931	0.001407	0.001407	0.005746	4.75	
22.00	22.00	59.77	11.00	70.77	0.84	x	4.59	5.23	10.55732	0.00950	0.008097	0.003405	0.001286	0.001286	0.005978	5.14	
19.00	25.20	51.62	12.60	64.22	0.76	x	4.84	5.69	11.32063	0.00991	0.008954	0.003923	0.001108	0.001108	0.006139	5.51	
17.50	25.80	47.54	12.90	60.44	0.72	x	5.14	6.35	12.35271	0.01035	0.010238	0.004748	0.000741	0.000741	0.006231	6.02	
17.00	26.30	46.18	13.15	59.33	0.71	x	5.43	6.67	13.00851	0.01096	0.010724	0.004943	0.000838	0.000838	0.006618	6.34	
17.00	26.75	46.18	13.38	59.56	0.71	x	5.69	7.19	13.84708	0.01136	0.011714	0.005560	0.000593	0.000593	0.006747	6.74	
16.00	27.20	43.47	13.60	57.07	0.68	x	5.96	7.59	14.56739	0.01187	0.012409	0.005936	0.000538	0.000538	0.007012	7.09	
15.75	27.55	42.79	13.78	56.56	0.67	x	6.27	8.14	15.49196	0.01240	0.013423	0.006536	0.000346	0.000346	0.007231	7.54	
15.00	28.10	40.75	14.05	54.80	0.65	x	6.59	8.59	16.31977	0.01301	0.014190	0.006938	0.000315	0.000315	0.007568	7.95	
15.00	28.70	40.75	14.35	55.10	0.66	x	6.79	8.99	16.96482	0.01332	0.014951	0.007412	0.000127	0.000127	0.007666	8.26	
14.50	29.32	39.39	14.66	54.05	0.64	x	7.04	9.39	17.66363	0.01377	0.015665	0.007816	0.000034	0.000034	0.007884	8.60	
14.25	30.19	38.71	15.10	53.81	0.64	x	7.29	9.83	18.40544	0.01420	0.016474	0.008295	0.000116	0.000116	0.008064	8.96	
14.00	31.37	38.03	15.69	53.72	0.64	x	7.64	10.29	19.27625	0.01489	0.017237	0.008671	0.000104	0.000104	0.008462	9.39	
13.50	32.50	36.68	16.25	52.93	0.63	x	7.93	10.74	20.07182	0.01542	0.018032	0.009112	0.000192	0.000192	0.008726	9.77	
13.25	33.46	36.00	16.73	52.73	0.63	x	8.22	11.21	20.88888	0.01594	0.018875	0.009592	0.000309	0.000309	0.008974	10.17	
13.00	34.22	35.32	17.11	52.43	0.62	x	8.44	11.51	21.44792	0.01637	0.019380	0.009849	0.000317	0.000317	0.009214	10.45	
12.50	35.18	33.96	17.59	51.55	0.61	x	8.66	12.00	22.21123	0.01668	0.020336	0.010465	0.000594	0.000594	0.009276	10.82	
12.25	36.17	33.28	18.09	51.36	0.61	x	8.93	12.34	22.86703	0.01722	0.020889	0.010727	0.000565	0.000565	0.009597	11.14	
12.00	37.31	32.60	18.66	51.26	0.61	x	9.29	12.74	23.68410	0.01797	0.021500	0.010975	0.000449	0.000449	0.010076	11.53	
12.00	38.38	32.60	19.19	51.79	0.62	x	9.53	13.09	24.31840	0.01842	0.022105	0.011296	0.000490	0.000490	0.010317	11.84	
11.75	39.11	31.92	19.56	51.48	0.61	x	9.72	13.51	24.97420	0.01870	0.022923	0.011824	0.000726	0.000726	0.010373	12.16	
11.75	40.25	31.92	20.13	52.05	0.62	x	10.02	13.84	25.65150	0.01933	0.023424	0.012024	0.000625	0.000625	0.010775	12.49	
11.25	41.15	30.56	20.58	51.14	0.61	x	10.23	14.23	26.29655	0.01967	0.024152	0.012466	0.000779	0.000779	0.010907	12.81	
11.00	42.26	29.88	21.13	51.01	0.61	x	10.49	14.39	26.74809	0.02029	0.024287	0.012400	0.000514	0.000514	0.011373	13.03	

Ket : x : data regangan beton tidak terekam karena strain gauge putus

## LAMPIRAN V

### Tabel V.6 : Hasil pengolahan data uji eksperimen Benda uji KSR.2.2

Jarak antar Yokes I = 300 mm       $P_{aktial} = 50000$  Kg  
 Tinggi antara 2 LVDT h = 308 mm       $P_{aktial} = 0,21$  fc' Ag  
 Panjang Bentang L = 1.63 m  
 1/3.L = 0.54 m



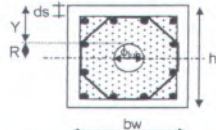
Beban P (Ton)	Lendutan $\Delta$ (mm)	Mp (KN.m)	Ms (KN.m)	Momen Total (KN.m)	M/Mmax	Strain Gauge Beton $\epsilon_c$	LVDT		Kurvatur $\phi$ (1/mm) $\times 10^3$	Regangan Tekan Beton $\epsilon_c$	Regangan Tulangan Baja				Daktilitas Kurvatur $\mu_p$	Keterangan
							$\Delta c$ (mm)	$\Delta t$ (mm)			Daerah Tarik		Daerah Tekan			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00	
1.00	0.08	2.72	0.04	2.76	0.03	0.000046	0.01	0.01	0.02165	0.00002	0.000014	0.000005	0.000005	0.000014	0.01	
2.00	0.43	5.43	0.22	5.65	0.07	0.000091	0.02	0.02	0.04329	0.00004	0.000029	0.000010	0.000010	0.000029	0.02	
3.00	0.77	8.15	0.39	8.54	0.10	0.000133	0.04	0.03	0.07576	0.00009	0.000034	0.000000	0.000034	0.000067	0.03	
4.00	1.04	10.87	0.52	11.39	0.14	0.000182	0.06	0.04	0.10823	0.00014	0.000039	0.000009	0.000057	0.000105	0.04	
5.00	1.34	13.58	0.67	14.25	0.17	0.000238	0.09	0.06	0.16234	0.00021	0.000058	0.000014	0.000086	0.000158	0.06	
6.00	1.70	16.30	0.85	17.15	0.21	0.000288	0.11	0.08	0.20563	0.00026	0.000087	0.000004	0.000096	0.000187	0.08	
7.00	2.01	19.02	1.01	20.02	0.24	0.000330	0.14	0.10	0.25974	0.00033	0.000106	0.000009	0.000124	0.000240	0.10	
8.00	2.28	21.73	1.14	22.87	0.28	0.000376	0.16	0.12	0.30303	0.00037	0.000135	0.000001	0.000134	0.000269	0.12	
9.00	2.53	24.45	1.27	25.72	0.31	0.000429	0.18	0.14	0.34632	0.00041	0.000164	0.000010	0.000144	0.000298	0.14	
10.00	2.80	27.17	1.40	28.57	0.35	0.000496	0.21	0.15	0.40043	0.00048	0.000184	0.000006	0.000172	0.000350	0.16	
11.00	3.10	29.88	1.55	31.43	0.38	0.000566	0.24	0.19	0.46537	0.00055	0.000227	0.000020	0.000187	0.000394	0.18	
12.00	3.45	32.60	1.73	34.33	0.42	0.000643	0.28	0.23	0.55195	0.00064	0.000285	0.000039	0.000206	0.000451	0.22	
13.00	3.84	35.32	1.92	37.24	0.45	0.000717	0.32	0.26	0.62771	0.00073	0.000318	0.000039	0.000239	0.000518	0.25	
14.00	4.21	38.03	2.11	40.14	0.49	0.000792	0.37	0.30	0.72511	0.00084	0.000367	0.000044	0.000278	0.000600	0.28	
15.00	<b>4.58</b>	<b>40.75</b>	<b>2.29</b>	<b>43.04</b>	<b>0.52</b>	<b>0.000886</b>	<b>0.41</b>	<b>0.33</b>	<b>0.80087</b>	<b>0.00093</b>	<b>0.000401</b>	<b>0.000045</b>	<b>0.000311</b>	<b>0.000667</b>	<b>0.31</b>	Retak 1
16.00	5.05	43.47	2.53	45.99	0.56	0.000993	0.46	0.37	0.89827	0.00105	0.000449	0.000050	0.000350	0.000749	0.35	Retak 2
17.00	5.57	46.18	2.79	48.97	0.59	0.001090	0.53	0.43	1.03896	0.00121	0.000526	0.000064	0.000398	0.000859	0.41	Retak 3
18.00	6.06	48.90	3.03	51.93	0.63	0.001204	0.58	0.48	1.14719	0.00131	0.000598	0.000088	0.000422	0.000931	0.45	Retak 4
19.00	6.65	51.62	3.33	54.94	0.67	0.001319	0.65	0.54	1.28788	0.00147	0.000675	0.000103	0.000470	0.001042	0.50	Retak 5
20.00	7.25	54.33	3.63	57.96	0.70	0.001442	0.72	0.61	1.43939	0.00162	0.000776	0.000137	0.000503	0.001143	0.56	Retak 6
21.00	7.90	57.05	3.95	61.00	0.74	0.001544	0.79	0.69	1.60173	0.00177	0.000901	0.000189	0.000523	0.001234	0.63	Retak 7
22.00	8.45	59.77	4.23	63.99	0.78	0.001748	0.87	0.75	1.75325	0.00195	0.000969	0.000190	0.000590	0.001369	0.69	Retak 8
23.00	9.38	62.48	4.69	67.17	0.82	0.001977	0.96	0.91	2.05628	0.00219	0.001237	0.000324	0.000590	0.001504	0.81	Retak 9
24.00	<b>10.96</b>	<b>65.20</b>	<b>5.48</b>	<b>70.68</b>	<b>0.86</b>	<b>0.002385</b>	<b>1.20</b>	<b>1.16</b>	<b>2.55411</b>	<b>0.00262</b>	<b>0.001636</b>	<b>0.000501</b>	<b>0.000634</b>	<b>0.001769</b>	<b>1.00</b>	Retak 10
25.00	12.39	67.92	6.20	74.11	0.90	0.002994	1.40	1.38	3.00866	0.00304	0.001972	0.000635	0.000702	0.002039	1.16	Retak 11
26.00	15.76	70.63	7.88	78.51	0.95	0.003190	1.62	1.67	3.56061	0.00348	0.002457	0.000875	0.000708	0.002290	1.39	
27.00	<b>18.00</b>	<b>73.35</b>	<b>9.00</b>	<b>82.35</b>	<b>1.00</b>	<b>0.003790</b>	<b>1.94</b>	<b>1.91</b>	<b>4.16667</b>	<b>0.00422</b>	<b>0.002728</b>	<b>0.000876</b>	<b>0.000976</b>	<b>0.002828</b>	<b>1.63</b>	
26.00	<b>20.76</b>	<b>70.63</b>	<b>10.38</b>	<b>81.01</b>	<b>0.98</b>	x	<b>2.22</b>	<b>2.25</b>	<b>4.83766</b>	<b>0.00479</b>	<b>0.003275</b>	<b>0.001126</b>	<b>0.001025</b>	<b>0.003175</b>	<b>1.89</b>	Spalling
25.00	20.90	67.92	10.45	78.37	0.95	x	3.33	3.21	7.07792	0.00728	0.004518	0.001373	0.001773	0.004918	2.77	
24.00	21.20	65.20	10.60	75.80	0.92	x	3.60	3.57	7.75974	0.00781	0.005123	0.001674	0.001774	0.005223	3.04	
23.00	21.80	62.48	10.90	73.38	0.89	x	3.82	3.82	8.26840	0.00827	0.005512	0.001837	0.001837	0.005512	3.24	
22.50	22.35	61.13	11.18	72.30	0.88	x	4.08	4.15	8.90693	0.00879	0.006054	0.002096	0.001862	0.005821	3.49	
22.00	<b>22.95</b>	<b>59.77</b>	<b>11.48</b>	<b>71.24</b>	<b>0.87</b>	x	<b>4.35</b>	<b>4.39</b>	<b>9.45887</b>	<b>0.00939</b>	<b>0.006372</b>	<b>0.002168</b>	<b>0.002035</b>	<b>0.006239</b>	<b>3.70</b>	
19.50	24.00	52.98	12.00	64.98	0.79	x	4.58	4.82	10.17316	0.00977	0.007181	0.002660	0.001860	0.006381	3.98	
18.50	25.35	50.26	12.68	62.93	0.76	x	4.92	5.12	10.86580	0.01053	0.007576	0.002748	0.002081	0.006910	4.25	
18.00	27.27	48.90	13.64	63.89	0.78	x	5.13	5.42	11.41775	0.01093	0.008094	0.003020	0.002054	0.007126	4.47	
18.00	28.11	48.90	14.06	62.96	0.76	x	5.38	5.72	12.01299	0.01145	0.008575	0.003236	0.002103	0.007441	4.70	
17.50	29.18	48.90	14.59	63.49	0.77	x	5.65	6.12	12.73810	0.01195	0.009275	0.003614	0.002047	0.007708	4.99	
17.00	30.09	47.54	15.05	62.59	0.76	x	5.92	6.45	13.38745	0.01250	0.009807	0.003858	0.002091	0.008041	5.24	
17.00	31.19	46.18	15.60	61.78	0.75	x	6.18	6.80	14.04762	0.01301	0.010397	0.004155	0.002088	0.008331	5.50	
16.50	32.05	44.83	16.03	60.85	0.74	x	6.48	7.14	14.74026	0.01364	0.010926	0.004375	0.002175	0.008726	5.77	
16.50	33.14	44.83	16.57	61.40	0.75	x	6.81	7.50	15.48701	0.01434	0.011474	0.004591	0.002291	0.009174	6.06	
15.50	34.27	42.11	17.14	59.24	0.72	x	7.08	7.87	16.17965	0.01486	0.012102	0.004912	0.002278	0.009469	6.33	
15.50	35.18	42.11	17.59	59.70	0.72	x	7.35	8.15	16.77489	0.01544	0.012515	0.005061	0.002394	0.009849	6.57	
15.00	36.21	40.75	18.11	58.86	0.71	x	7.58	8.45	17.34848	0.01590	0.013015	0.005305	0.002405	0.010115	6.79	
14.50	37.06	39.39	18.53	57.92	0.70	x	7.83	8.79	17.98701	0.01639	0.013590	0.005597	0.002397	0.010390	7.04	
14.00	38.34	38.03	19.17	57.20	0.69	x	8.20	9.27	18.90693	0.01712	0.014387	0.005984	0.002418	0.010820	7.40	
13.50	39.68	36.68	19.84	56.52	0.69	x	8.50	9.62	19.61039	0.01774	0.014939	0.006224	0.002491	0.011206	7.68	
13.00	40.27	35.32	20.14	55.45	0.67	x	8.70	9.80	20.02165	0.01819	0.015180	0.006282	0.002615	0.011513	7.84	
13.00	41.33	35.32	20.67	55.98	0.68	x	8.95	10.11	20.62771	0.01869	0.015684	0.006517	0.002650	0.011817	8.08	
12.50	42.29	33.96	21.15	55.10	0.67	x	9.20	10.13	20.91991	0.01937	0.015495	0.006198	0.003098	0.012395	8.19	
12.50	43.15	33.96	21.58	55.53	0.67	x	9.52	10.15	21.28788	0.02024	0.015241	0.005780	0.003680	0.013141	8.33	
12.00	44.34	32.60	22.17	54.77	0.67	x	9.75	10.19	21.58009	0.02085	0.015119	0.005528	0.004062	0.013652	8.45	
12.00	45.13	32.60	22.57	55.17	0.67	x	9.90	10.77	22.37013	0.02092	0.016362	0.006421	0.003521	0.013462	8.76	
12.00	46.22	32.60	23.11	55.71	0.68	x	10.08	11.07	22.88961	0.02124	0.016908	0.006736	0.003436	0.013608	8.96	
11.50	47.11	31.24	23.56	54.80	0.67	x	10.28	11.37	23.43074	0.02161	0.017436	0.007023	0.003390	0.013802	9.17	
11.00	48.00	29.88	24.00	53.88	0.65	x	10.48	11.87	24.18831	0.02187	0.018441	0.007691	0.003058	0.013807	9.47	
11.00	49.25	29.88	24.63	54.51	0.66	x	10.79	12.39	25.08658	0.02242	0.019369	0.008241	0.002908	0.014056	9.82	
11.00	50.38	29.88	25.19	55.07	0.67	x	11.05	13.57	26.64502	0.02245	0.021962	0.010121	0.001721	0.013562	10.43	
11.00	51.40	29.88	25.70	55.58	0.67	x	11.26	14.34	27.70563	0.02257	0.023602	0.011290	0.001023	0.013335	10.85	

Ket : x : data regangan beton tidak terekam karena strain gauge putus

LAMPIRAN V

Tabel V.7 : Hasil pengolahan data uji eksperimen Benda uji KSR.2.3

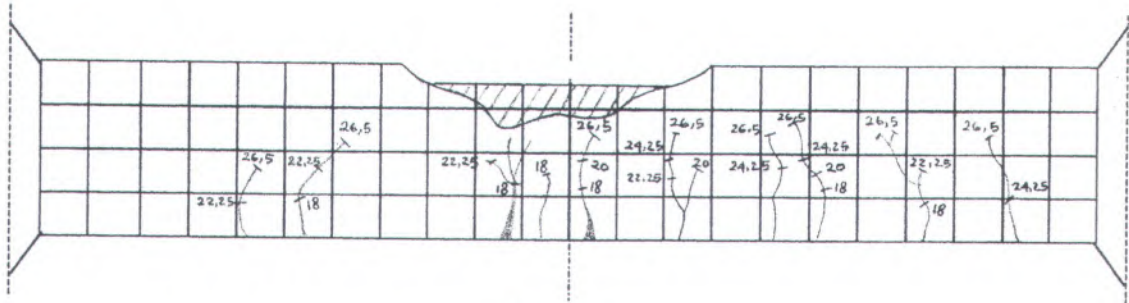
Jarak antar Yokes l = 300 mm      Paksial = 50000 Kg  
 Tinggi antara 2 LVDT h = 308 mm      Paksial = 0,21.fc'.Ag  
 Panjang Bentang L = 1,63 m  
 1/3.L = 0,54 m



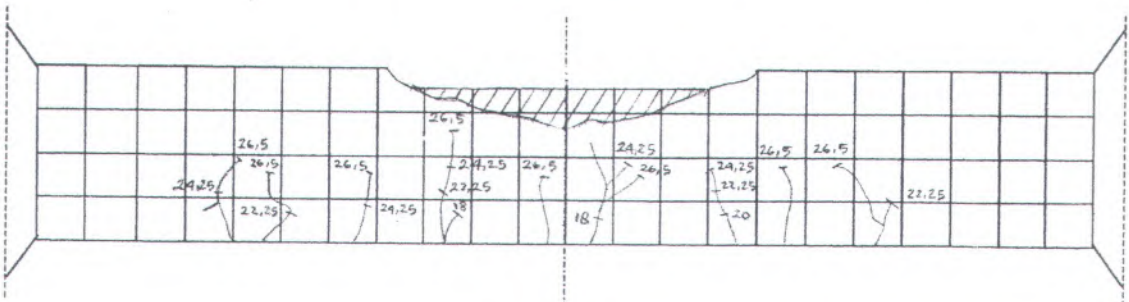
Beban P (Ton)	Lendutan Δ (mm)	Mp (KN.m)	Ms (KN.m)	Momen Total (KN.m)	M/Mmax	Strain Gauge Beton εc	LVDT		Kurvatur φ (1/mm) x 10 <sup>-3</sup>	Regangan Tekan Beton εc	Regangan Tulangan Baja				Daktilitas Kurvatur μp	Keterangan	
							Δc (mm)	Δt (mm)			Daerah Tarik		Daerah Tekan				
							εs1	εs2	εs3	εs4							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00	
1.00	0.11	2.72	0.06	2.77	0.03	0.000013	0.01	0.01	0.02165	0.00002	0.000014	0.000005	0.000005	0.000014	0.000014	0.01	
2.00	0.28	5.43	0.14	5.57	0.06	0.000049	0.02	0.02	0.04329	0.00004	0.000029	0.000010	0.000010	0.000029	0.000029	0.02	
3.00	0.57	8.15	0.29	8.44	0.10	0.000096	0.04	0.03	0.07576	0.00009	0.000034	0.000000	0.000034	0.000067	0.000067	0.03	
4.00	0.75	10.87	0.38	11.24	0.13	0.000124	0.05	0.04	0.09740	0.00011	0.000048	0.000005	0.000038	0.000082	0.000082	0.04	
5.00	1.08	13.58	0.54	14.12	0.16	0.000181	0.08	0.07	0.16234	0.00018	0.000092	0.000019	0.000053	0.000125	0.000125	0.06	
6.00	1.35	16.30	0.68	16.98	0.19	0.000231	0.11	0.09	0.21645	0.00025	0.000111	0.000015	0.000081	0.000178	0.000178	0.09	
7.00	1.56	19.02	0.78	19.80	0.22	0.000268	0.14	0.11	0.27056	0.00032	0.000130	0.000010	0.000110	0.000230	0.000230	0.11	
8.00	1.83	21.73	0.92	22.65	0.26	0.000312	0.16	0.13	0.31385	0.00036	0.000159	0.000020	0.000120	0.000259	0.000259	0.13	
9.00	2.08	24.45	1.04	25.49	0.29	0.000355	0.19	0.15	0.36797	0.00043	0.000179	0.000015	0.000148	0.000312	0.000312	0.15	
10.00	2.34	27.17	1.17	28.34	0.32	0.000406	0.22	0.17	0.42208	0.00051	0.000198	0.000010	0.000168	0.000365	0.000365	0.17	
11.00	2.57	29.88	1.29	31.17	0.35	0.000453	0.24	0.19	0.46537	0.00055	0.000227	0.000020	0.000187	0.000394	0.000394	0.19	
12.00	2.85	32.60	1.43	34.03	0.38	0.000507	0.27	0.22	0.53030	0.00061	0.000270	0.000034	0.000201	0.000437	0.000437	0.21	
13.00	3.13	35.32	1.57	36.88	0.42	0.000564	0.30	0.24	0.58442	0.00068	0.000290	0.000030	0.000230	0.000490	0.000490	0.23	
14.00	3.30	38.03	1.65	39.68	0.45	0.000602	0.32	0.26	0.62771	0.00073	0.000318	0.000039	0.000239	0.000518	0.000518	0.25	
15.00	3.56	40.75	1.78	42.53	0.48	0.000661	0.35	0.28	0.68182	0.00080	0.000338	0.000035	0.000268	0.000571	0.000571	0.27	
16.00	3.85	43.47	1.93	45.39	0.51	0.000722	0.39	0.31	0.75758	0.00089	0.000372	0.000035	0.000302	0.000638	0.000638	0.30	
<b>17.00</b>	<b>4.21</b>	<b>46.18</b>	<b>2.11</b>	<b>48.29</b>	<b>0.54</b>	<b>0.000803</b>	<b>0.44</b>	<b>0.35</b>	<b>0.85498</b>	<b>0.00100</b>	<b>0.000420</b>	<b>0.000040</b>	<b>0.000340</b>	<b>0.000720</b>	<b>0.000720</b>	<b>0.34</b>	<b>Retak 1</b>
18.00	4.50	48.90	2.25	51.15	0.58	0.000873	0.47	0.39	0.93074	0.00106	0.000487	0.000073	0.000340	0.000754	0.000754	0.37	Retak 2
19.00	4.87	51.62	2.44	54.05	0.61	0.000956	0.51	0.43	1.01732	0.00115	0.000545	0.000093	0.000359	0.000811	0.000811	0.41	Retak 3
20.00	5.29	54.33	2.65	56.98	0.64	0.001049	0.59	0.49	1.16883	0.00134	0.000612	0.000093	0.000426	0.000946	0.000946	0.47	Retak 4
21.00	5.60	57.05	2.80	59.85	0.67	0.001119	0.64	0.53	1.26623	0.00145	0.000661	0.000098	0.000465	0.001027	0.001027	0.51	Retak 5
22.00	5.95	59.77	2.98	62.74	0.71	0.001196	0.69	0.57	1.36364	0.00156	0.000709	0.000103	0.000503	0.001109	0.001109	0.55	Retak 6
23.00	6.43	62.48	3.22	65.70	0.74	0.001301	0.77	0.64	1.52597	0.00174	0.000801	0.000122	0.000556	0.001234	0.001234	0.61	Retak 7
24.00	7.00	65.20	3.50	68.70	0.77	0.001415	0.85	0.72	1.69913	0.00192	0.000918	0.000161	0.000594	0.001349	0.001349	0.68	Retak 8
25.00	7.56	67.92	3.78	71.70	0.81	0.001536	0.94	0.80	1.88312	0.00212	0.001022	0.000185	0.000652	0.001489	0.001489	0.75	Retak 9
26.00	8.09	70.63	4.05	74.68	0.84	0.001645	1.01	0.88	2.04545	0.00226	0.001147	0.000238	0.000671	0.001580	0.001580	0.82	Retak 10
27.00	8.60	73.35	4.30	77.65	0.87	0.001757	1.08	0.96	2.20779	0.00241	0.001272	0.000291	0.000691	0.001672	0.001672	0.88	Retak 11
<b>28.00</b>	<b>9.38</b>	<b>76.07</b>	<b>4.69</b>	<b>80.76</b>	<b>0.91</b>	<b>0.001928</b>	<b>1.21</b>	<b>1.10</b>	<b>2.50000</b>	<b>0.00268</b>	<b>0.001483</b>	<b>0.000372</b>	<b>0.000739</b>	<b>0.001850</b>	<b>0.001850</b>	<b>1.00</b>	<b>Retak 12</b>
29.00	10.56	78.78	5.28	84.06	0.95	0.002219	1.40	1.34	2.96537	0.00307	0.001877	0.000559	0.000759	0.002077	0.002077	1.19	Retak 13
29.50	11.93	80.14	5.97	86.11	0.97	0.002527	1.64	1.61	3.51732	0.00357	0.002295	0.000732	0.000832	0.002395	0.002395	1.41	Retak 14
<b>30.00</b>	<b>14.56</b>	<b>81.60</b>	<b>7.28</b>	<b>88.78</b>	<b>1.00</b>	<b>0.003114</b>	<b>2.26</b>	<b>2.28</b>	<b>4.91342</b>	<b>0.00488</b>	<b>0.003309</b>	<b>0.001125</b>	<b>0.001068</b>	<b>0.003242</b>	<b>0.003242</b>	<b>1.97</b>	<b>Spalling</b>
28.00	17.00	76.07	8.50	84.57	0.95	x	3.64	4.00	8.26840	0.00767	0.006112	0.002437	0.001237	0.004912	0.004912	3.31	
24.50	18.28	66.56	9.14	75.70	0.85	x	4.20	4.33	9.23160	0.00901	0.006370	0.002268	0.001835	0.005937	0.005937	3.69	
<b>20.00</b>	<b>19.35</b>	<b>54.33</b>	<b>9.68</b>	<b>64.01</b>	<b>0.72</b>	<b>x</b>	<b>4.74</b>	<b>4.78</b>	<b>10.30303</b>	<b>0.01024</b>	<b>0.006935</b>	<b>0.002356</b>	<b>0.002223</b>	<b>0.006801</b>	<b>0.006801</b>	<b>4.12</b>	
17.50	20.28	47.54	10.14	57.68	0.65	x	6.52	5.13	12.60823	0.01492	0.006088	0.000485	0.005118	0.010721	0.010721	5.04	
17.00	21.11	46.18	10.56	56.74	0.64	x	6.67	5.33	12.98701	0.01522	0.006424	0.000652	0.005119	0.010890	0.010890	5.19	
16.50	22.07	44.83	11.04	55.86	0.63	x	7.36	5.88	14.32900	0.01680	0.007085	0.000717	0.005651	0.012018	0.012018	5.73	
16.00	23.15	43.47	11.58	55.04	0.62	x	7.82	6.18	15.15152	0.01788	0.007367	0.000633	0.006100	0.012833	0.012833	6.06	
15.50	24.23	42.11	12.12	54.22	0.61	x	8.33	6.63	16.19048	0.01902	0.007959	0.000764	0.006431	0.013626	0.013626	6.48	
14.50	25.21	39.39	12.61	52.00	0.59	x	8.79	7.06	17.15368	0.02004	0.008551	0.000928	0.006695	0.014318	0.014318	6.86	
14.50	26.20	39.39	13.10	52.49	0.59	x	9.39	7.49	18.26840	0.02144	0.009011	0.000893	0.007226	0.015344	0.015344	7.31	
14.00	27.32	38.03	13.66	51.69	0.58	x	9.89	7.91	19.26407	0.02256	0.009541	0.000980	0.007580	0.016141	0.016141	7.71	
12.50	28.37	33.96	14.19	48.14	0.54	x	10.45	8.38	20.37879	0.02383	0.010135	0.001078	0.007978	0.017035	0.017035	8.15	
12.00	29.16	32.60	14.58	47.18	0.53	x	10.85	8.68	21.13636	0.02475	0.010473	0.001080	0.008313	0.017706	0.017706	8.45	
12.00	30.27	32.60	15.14	47.74	0.54	x	11.34	9.08	22.09957	0.02587	0.010965	0.001144	0.008677	0.018498	0.018498	8.84	
11.00	31.25	29.88	15.63	45.51	0.51	x	11.99	9.43	23.18182	0.02745	0.011186	0.000884	0.009418	0.019720	0.019720	9.27	
11.00	32.13	29.88	16.07	45.95	0.52	x	12.39	9.78	23.99351	0.02834	0.011644	0.000981	0.009681	0.020344	0.020344	9.60	
11.00	33.18	29.88	16.59	46.47	0.52	x	12.88	10.24	25.02165	0.02942	0.012279	0.001180	0.009960	0.021079	0.021079	10.01	
11.00	34.20	29.88	17.10	46.98	0.53	x	13.29	10.68	25.94156	0.03029	0.012943	0.001414	0.010114	0.021643	0.021643	10.38	
10.50	35.17	28.53	17.59	46.11	0.52	x	13.74	11.03	26.80736	0.03132	0.013353	0.001440	0.010473	0.022386	0.022386	10.72	
10.50	36.21	28.53	18.11	46.63	0.53	x	14.38	11.49	27.99784	0.03281	0.013847	0.001404	0.011038	0.023480	0.023480	11.20	
10.00	37.76	27.17	18.88	46.05	0.52	x	14.82	11.91	29.82857	0.03378	0.014434	0.001578	0.011278	0.024134	0.024134	11.57	
10.00	38.33	27.17	19.17	46.33	0.52	x	15.21	12.37	29.84848	0.03458	0.015164	0.001899	0.011366	0.024630	0.024630	11.94	
9.50	39.22	25.81	19.61	45.42	0.51	x	15.56	12.79	30.68182	0.03530	0.015836	0.002201	0.011434	0.025069	0.025069	12.27	
9.50	40.20	25.81	20.10	45.91	0.52	x	16.38	13.52	32.35931	0.03713	0.016804	0.002424	0.011957	0.026337	0.026337	12.94	
9.00	41.00	24.45	20.50	44.95	0.51	x	16.89	14.08	33.51732	0.03820	0.017659	0.002764	0.012131	0.027026	0.027026	13.41	
9.00	42.15	24.45	21.08	45.53	0.51	x	17.36	14.63	34.6212								

**LAMPIRAN VI**  
**GAMBAR POLA RETAK KOLOM**  
**HASIL UJI EKSPERIMEN**



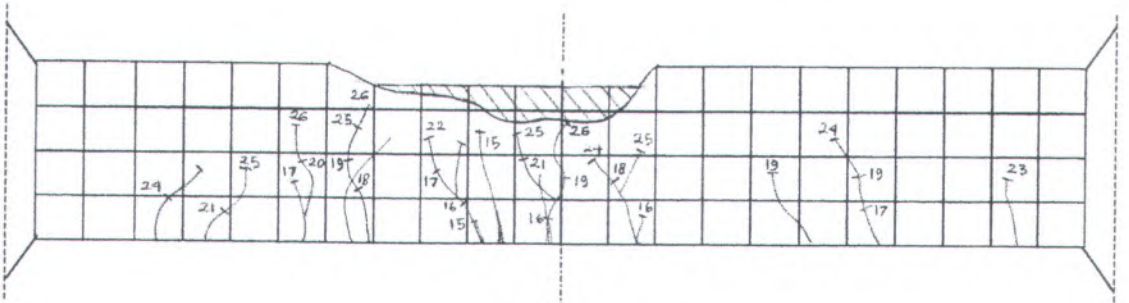


Tampak Depan

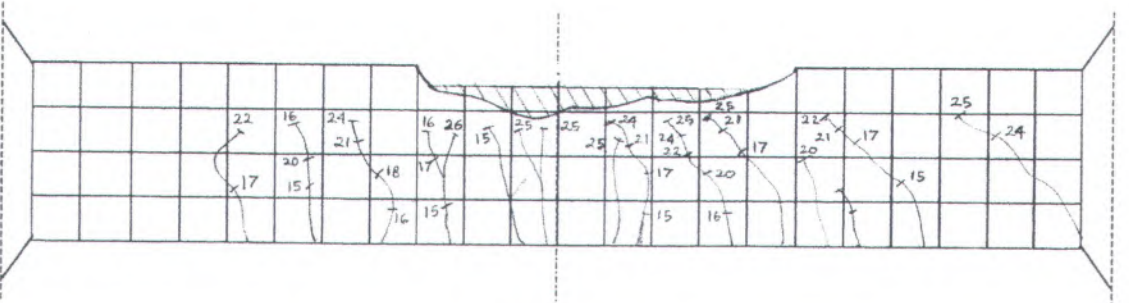


Tampak Belakang

Gambar VI.3 Pola Retak Benda Uji KST. 1.2




Tampak Depan



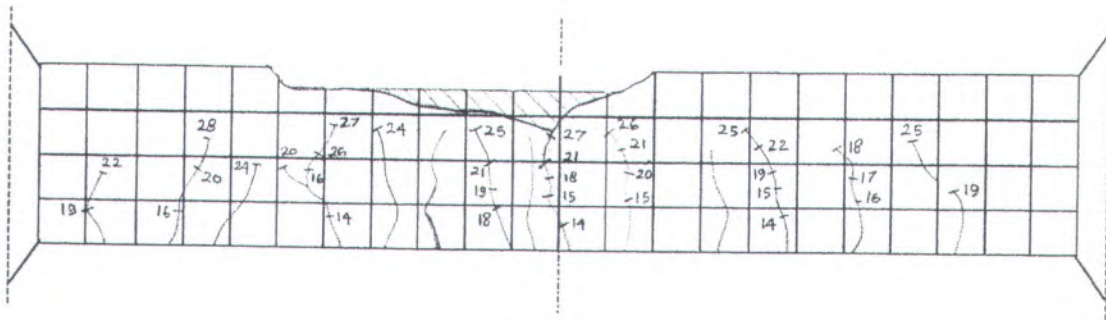
Tampak Belakang

Gambar VI.4 Pola Retak Benda Uji KST. 1.3

**Keterangan :**

 Selimut beton samping mengelupas



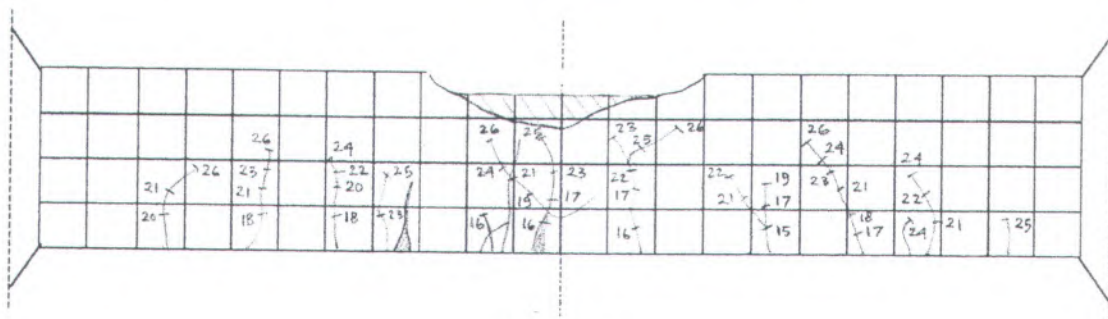


Tampak Depan

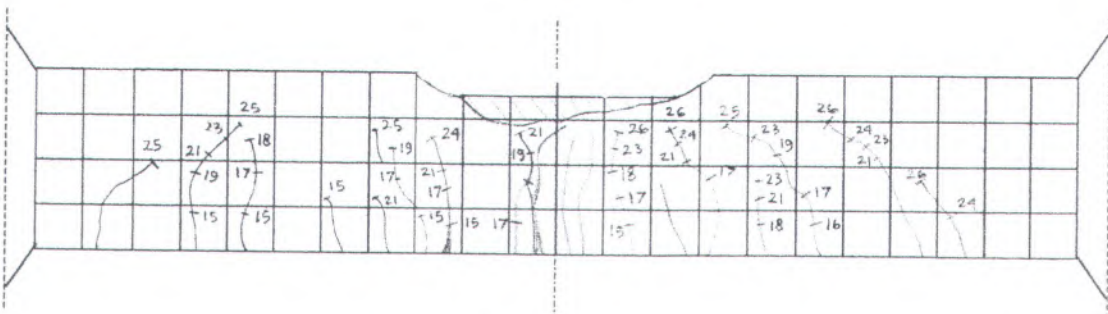


Tampak Belakang

Gambar VI.5 Pola Retak Benda Uji KSR. 2.0



Tampak Depan

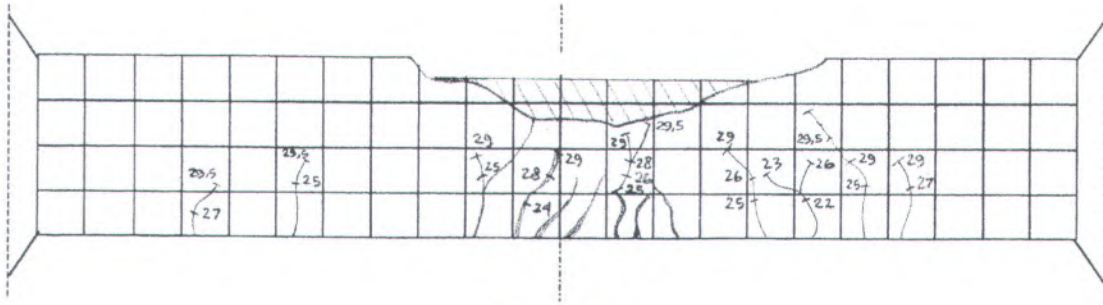


Tampak Belakang

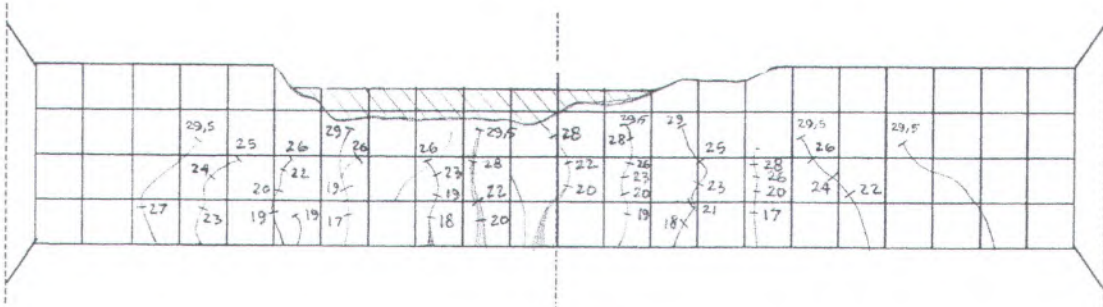
Gambar VI.6 Pola Retak Benda Uji KSR. 2.2

Keterangan :

 Selimut beton samping mengelupas




Tampak Depan



Tampak Belakang

Gambar VI.7 Pola Retak Benda Uji KSR. 2.3

**Keterangan :**

 Selimut beton samping mengelupas

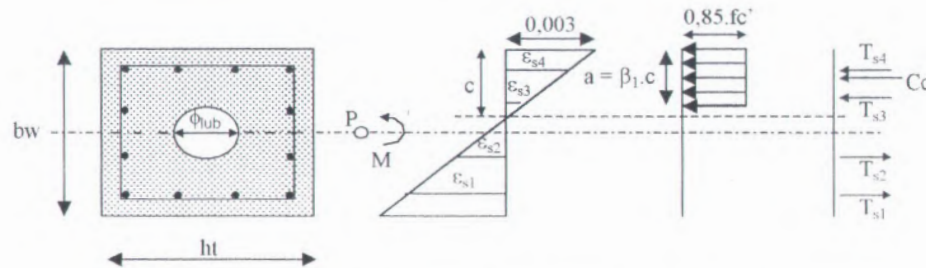
**LAMPIRAN VII**  
**HASIL PERHITUNGAN ANALISA**  
**KAPASITAS MOMEN LENTUR KOLOM**  
**MENURUT ACI 318-95**

# LAMPIRAN VII

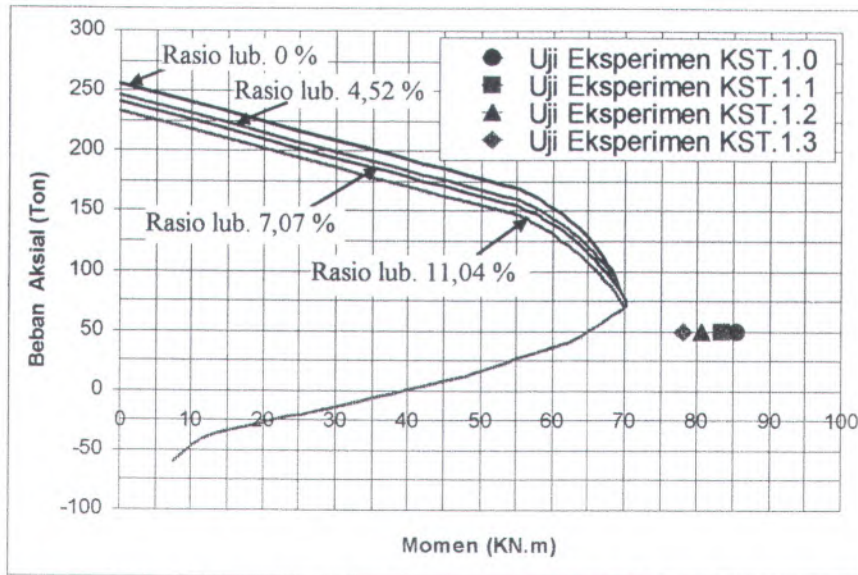
Tabel VII : Hasil Perhitungan Analisa Teoritis Menurut ACI 318-95

$b_w$	=	200 mm	$\epsilon_y$	=	0.0017	$P_{aksial}$	=	50000 Kg
$h_t$	=	200 mm	$\epsilon_{sh}$	=	0.0210	$P_{aksial}$	=	$0,21 \cdot f_c' \cdot A_g$
$d_s$	=	20 mm	$\epsilon_{su}$	=	0.1731			
$f_y$	=	340 MPa	$\phi_t$	=	12.68 mm			
$f_{yh}$	=	360 MPa	$\phi_s$	=	7 mm			
$f_c'$	=	60 MPa	$\beta_1$	=	0.65			

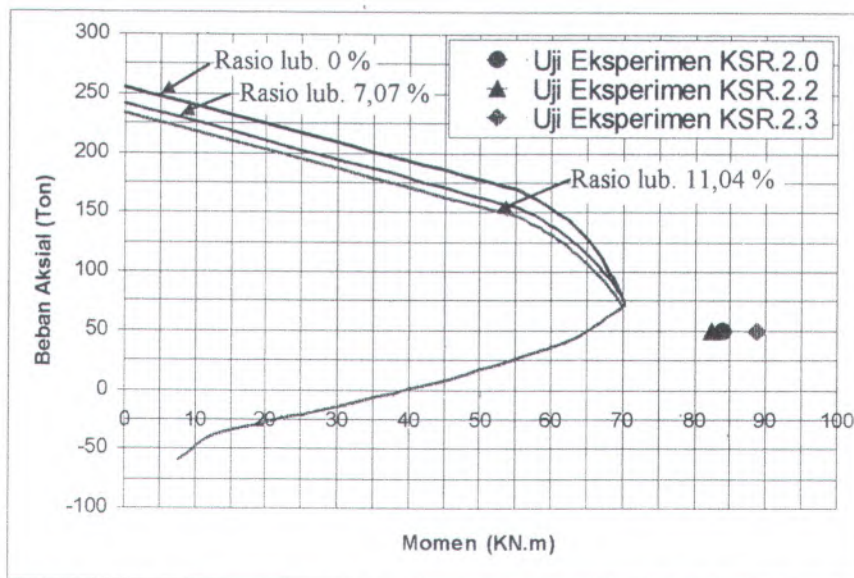
Kode Benda Uji	Diameter Lubang $\phi_{lub}$ (mm)	Rasio Lubang (%)	Garis Netral c (mm)	Tinggi Blok Stress a = $\beta_1 \cdot c$ (mm)	Regangan Baja				Tegangan Tulangan Baja				Kekuatan Tulangan Baja				Gaya Tekan Beton Cc (Kg)	Momen Maksimum (KN.m)
					$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\epsilon_{s3}$	$\epsilon_{s4}$	$f_{s1}$ (MPa)	$f_{s2}$ (MPa)	$f_{s3}$ (MPa)	$f_{s4}$ (MPa)	$T_{s1}$ (Kg)	$T_{s2}$ (Kg)	$T_{s3}$ (Kg)	$T_{s4}$ (Kg)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
KST.1.0	0.00	0.00	84.0736	54.6478	0.00295	0.00136	0.00022	0.00181	340	272.236	44.915	340	17173.835	6875.493	1134.352	17173.835	55740.784	65.186
KST.1.1	48.00	4.52	84.0736	54.6478	0.00295	0.00136	0.00022	0.00181	340	272.236	44.915	340	17173.835	6875.493	1134.352	17173.835	55740.784	65.186
KST.1.2	60.00	7.07	84.0736	54.6478	0.00295	0.00136	0.00022	0.00181	340	272.236	44.915	340	17173.835	6875.493	1134.352	17173.835	55740.784	65.186
KST.1.3	75.00	11.04	84.0736	54.6478	0.00295	0.00136	0.00022	0.00181	340	272.236	44.915	340	17173.835	6875.493	1134.352	17173.835	55740.784	65.186
KSR.2.0	0.00	0.00	84.0736	54.6478	0.00295	0.00136	0.00022	0.00181	340	272.236	44.915	340	17173.835	6875.493	1134.352	17173.835	55740.784	65.186
KSR.2.2	60.00	7.07	84.0736	54.6478	0.00295	0.00136	0.00022	0.00181	340	272.236	44.915	340	17173.835	6875.493	1134.352	17173.835	55740.784	65.186
KSR.2.3	75.00	11.04	84.0736	54.6478	0.00295	0.00136	0.00022	0.00181	340	272.236	44.915	340	17173.835	6875.493	1134.352	17173.835	55740.784	65.186



Gambar VII.1 Analisa Kapasitas Momen Lentur Kolom Menurut ACI 318-95

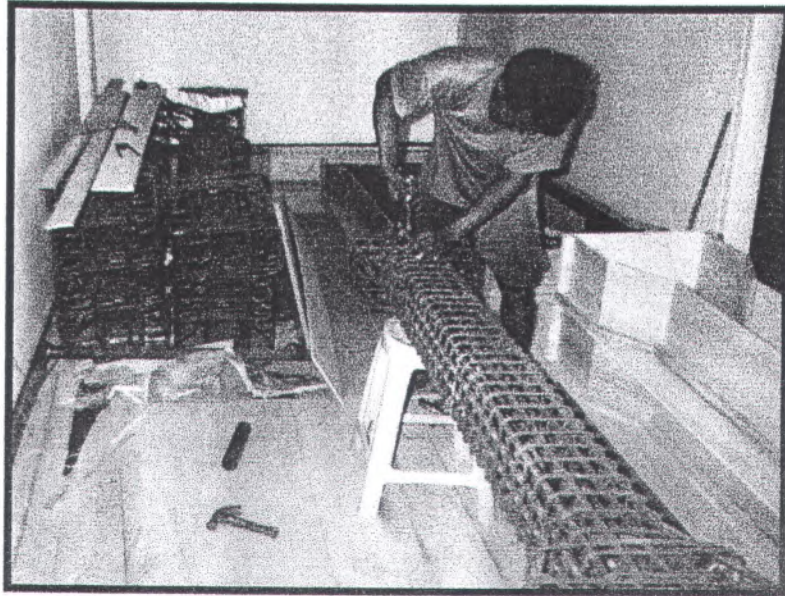


Gambar VII.2 Diagram interaksi kolom menurut ACI 318-95 dan hasil uji eksperimen pada kolom dengan sengkang tunggal



Gambar VII.3 Diagram interaksi kolom menurut ACI 318-95 dan hasil uji eksperimen pada kolom dengan sengkang rangkap

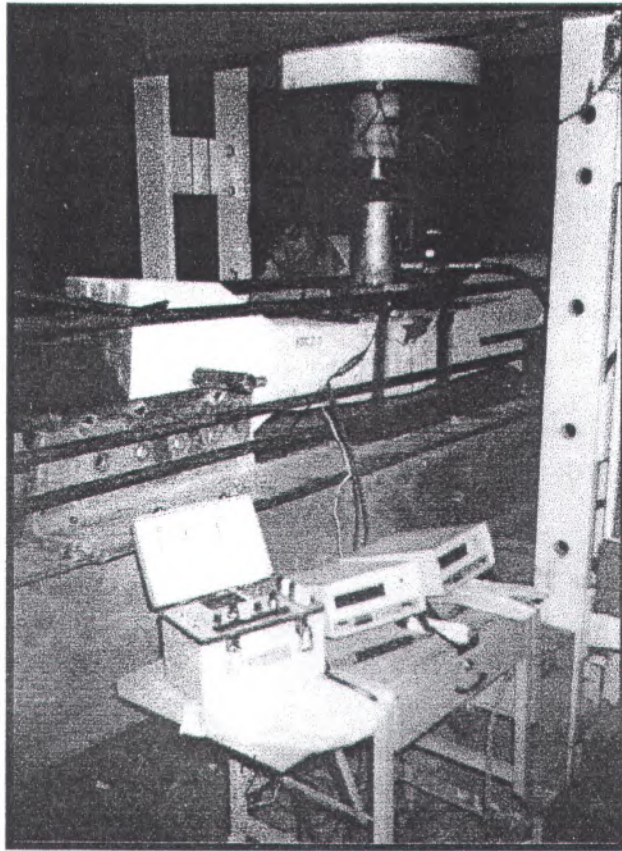
**LAMPIRAN VIII**  
**FOTO-FOTO**



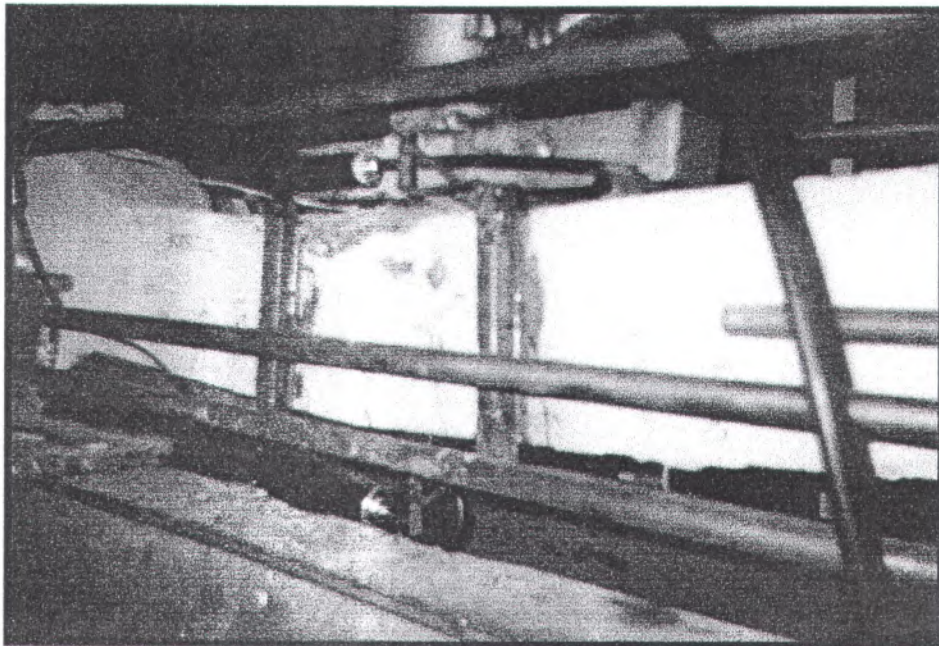
Gambar VIII.1 Perakitan benda uji kolom



Gambar VIII.2 Pengecoran benda uji kolom

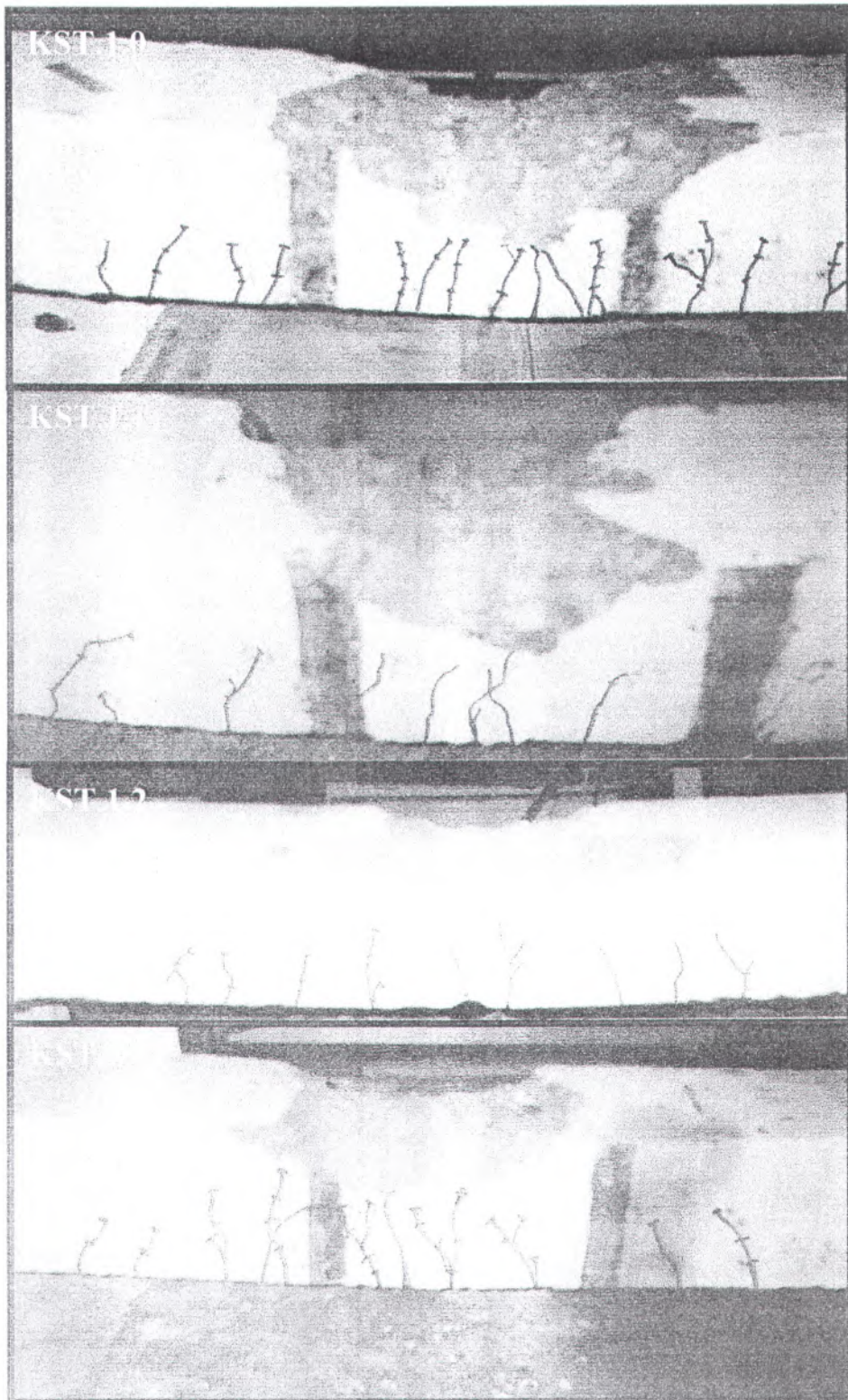


Gambar VIII.3 Setup alat yang digunakan dalam pengujian

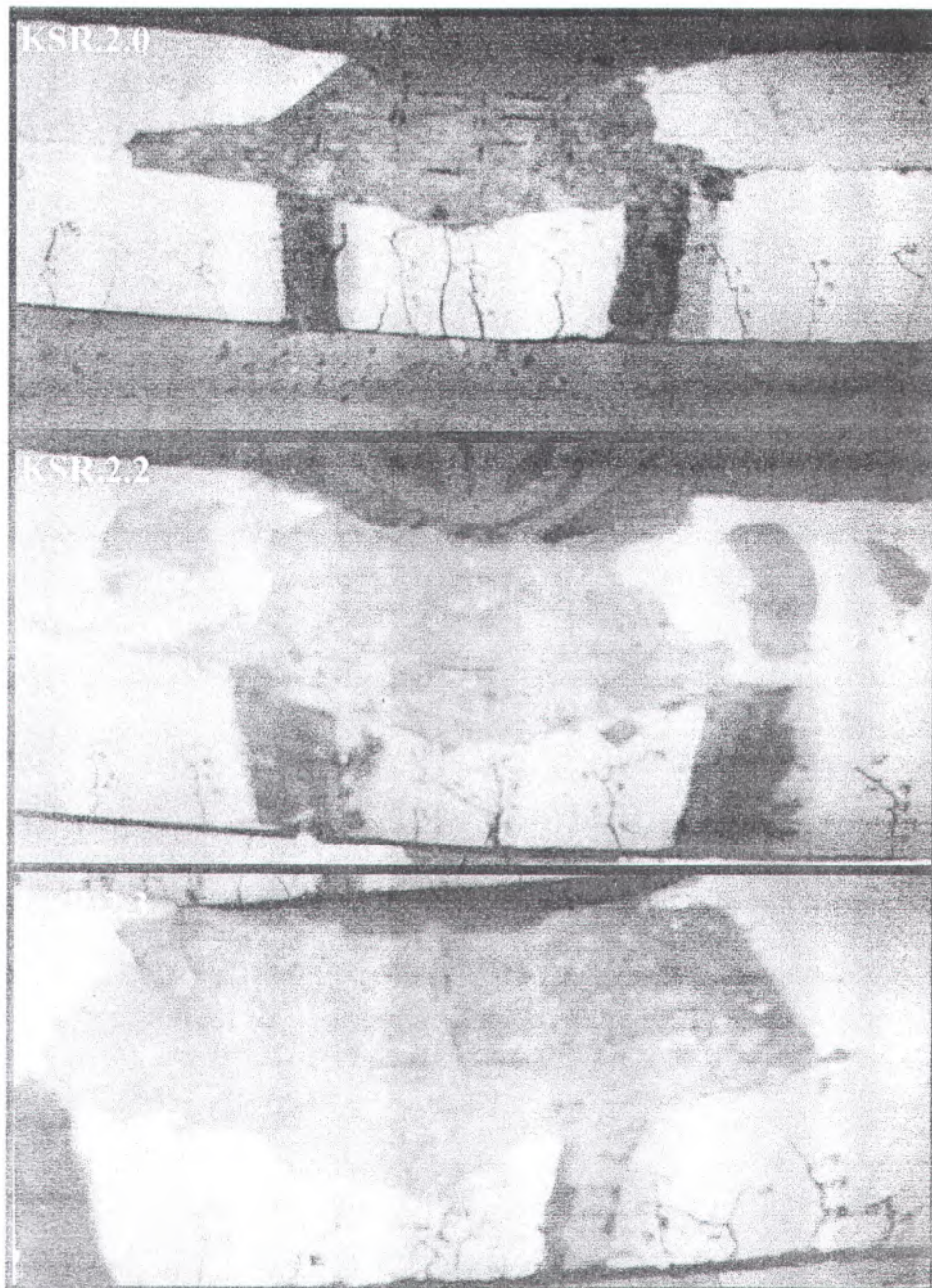


Gambar VIII.4 Penempatan alat Yokes pada benda uji kolom untuk pengukuran kurvatur





Gambar VIII.5 Benda uji kolom dengan sengkang tunggal setelah di uji pembebanan



Gambar VIII.6 Benda uji kolom dengan sengkang rangkap setelah di uji pembebanan