

SKRIPSI

**PENGARUH LUBANG SEBESAR 7,88 %, 13,93 % DAN
15,95 % PADA PENAMPANG KOLOM PERSEGI BETON
BERTULANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN DAKTILITAS**



Disusun oleh :

**JULIO MARIA SOARES
(09 21 913)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
M A L A N G**

2013

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PENGARUH LUBANG SEBESAR 7,88%, 13,93% DAN 15,95% PADA
PENAMPANG KOLOM PERSEGI BETON BERTULANG TERHADAP
KUAT TEKAN DAN DAKTILITAS**

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

**Disusun Oleh :
JULIO MARIA SOARES
0921913**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Ir.A. Agus Santosa, MT)

(Ir. Togi H. Ninggolan, MS)

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

Ir. H. Hirijanto, MT

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH LUBANG SEBESAR 7,88%, 13,93% DAN 15,95% PADA
PENAMPANG KOLOM PERSEGI BETON BERTULANG TERHADAP
KUAT TEKAN DAN DAKTILITAS**

SKRIPSI

**Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang
Strata Satu (S-1)
Pada Hari : Sabtu
Tanggal : 09 Februari 2013
Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Disusun Oleh :
JULIO MARIA SOARES
0921913**

Disahkan Oleh :

Ketua

Sekretaris

(Ir.H. Hirijanto, MT)

(Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT)

Anggota Penguji :

Penguji I

Penguji II

Yosimson P. Manaha, ST, MT

Ir. Ester Priskasari, MT

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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Julio maria Soares

NIM : 09 21 913

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul:

**PENGARUH LUBANG SEBESAR 7,88%, 13,93% DAN 15,95% PADA
PENAMPANG KOLOM PERSEGI BETON BERTULANG TERHADAP
KUAT TEKAN DAN DAKTILITAS**

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

Malang, Februari 2013

Yang membuat pernyataan

Julio Maria Soares

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Berkah dan Rahmat-Nya, sehingga Penyusun dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul :”***Pengaruh Lubang Sebesar 7,88 %, 13,93% dan 15,95% Pada Penampang Kolom Persegi Beton Bertulang Terhadap Kuat Tekan Dan Daktilitas***” yang merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil-S1 di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.

Sehubungan dengan hal tersebut dalam kesempatan ini saya menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT., selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Andrianus Agus Santosa, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang dan sebagai Dosen Pembimbing Skripsi I
3. Bapak Ir. H. Hirijanto, MT selaku Ketua program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
4. Ibu Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1.
5. Bapak Ir. Togi H. Nainggolan, MS, selaku Koordinator Bidang Penelitian dan sebagai Dosen Pembimbing II
6. Ibu Ir. Ester Priskasari, MT. selaku Dosen Penguji II
7. Bapak Yosimson P. Manaha, ST, MT sebagai Dosen Penguji Skripsi II

8. Semua keluarga yang turut mendukung dan membantu baik dalam moral, material maupun biaya.
9. Rekan-rekan Teknik Sipil S-1 seangkatan yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dengan segala kemurahan hati saya menyadari bahwa dalam penyusunan laporan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca saya sangat mengharapkan.

,” akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua”.

Malang, Februari 2013

Penulis

Pengaruh Lubang Sebesar 7,88%, 13,93%, dan 15,95% Pada Penampang Kolom Persegi Beton Bertulang Terhadap Kuat Tekan Beton Dan Daktilitas

**Julio Maria Soares (09 21 913), Dosen Pembimbing Ir. A. Agus Santosa, MT
dan Ir. Togi H. Nainggolan, MS**

ABSTRAK

Untuk mencapai konsep “*strong columns weak beams*” pada kolom berlubang maka daktilitas kolom pada struktur gedung dapat ditingkatkan dengan menambahkan tulangan longitudinal pada daerah lubang dan tulangan spiral disekitar lubang utama kolom. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas dari kolom berlubang yang ditambahkan tulangan disekitar lubang tersebut dan mengetahui hubungan tegangan-regangan serta daktilitas kolom beton bertulang yang terkekang.

Peningkatan kekuatan kolom, telah dipredikasi melalui pendekatan analisis teoritis, penulis melakukan uji eksperimental. Pengujian eksperimental memakai benda uji kolom persegi dengan dimensi = 150 x 150 mm, dan tinggi kolom 600 mm. Pelaksanaan penelitian dimulai dengan melakukan pemilihan mix design, uji tarik tulangan baja BJTP diameter Ø5,6 mm, Ø4,7 mm dan BJTU Ø9,05 mm, selimut beton 20 mm, pembesian, bekisting kolom dan kemudian dilakukan pengecoran beton kolom yang dilanjutkan dengan perawatan beton hingga kolom berumur 28 hari.

Perbandingan antara hasil analisis teoritis dan uji eksperimental penambahan lubang pada kolom beton berlubang tidak begitu berpengaruh pada kekuatan kolom bila dengan penambahan tulangan disekitar lubang utama, maka kolom tersebut cukup kuat dan efektif. Ini dibuktikan pada kolom beton yang tidak dilubangi (utuh) memberikan efektifitas pengekangan yang hampir setara atau lebih dengan kolom beton terkekang yang tidak berlubang. Dengan perbedaan ratio tulangan transversal $\rho_s = 57,30\%$ kuat tekan beton (f'_{cc}) berbeda sebesar = 13,19%, regangan puncak beton terkekang (ϵ'_{cc}) berbeda sebesar = 4,44 %, regangan beton ultimit terkekang sebesar = (ϵ'_{cc}) berbeda 0,12% dan daktilitas sebesar 4,136%

Dari hasil pengujian analisis teoritis dan eksperimen kolom berlubang utama tanpa penambahan tulangan, dan kolom berlubang utama dengan penambahan variasi lubang sangat berpengaruh pada dimensi kekuatan kolom, sehingga diperlukan penambahan tulangan untuk menambah efektifitas kekuatan kolom guna merespon beban diatasnya.

Kata Kunci : daktilitas, kuat tekan, tegangan, regangan,

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Persetujuan	ii
Lembar Pengesahan	iii
Pernyataan Keaslian Skripsi.....	iv
Kata Pengantar	v
Abstrak	vii
Daftar Isi.....	viii
Daftar Tabel	xi
Daftar Grafik.....	xii
Daftar Notasi	xiv

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	4

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum	5
2.2. Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Kolom berlubang	6
2.3. Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai beton terkekang.....	11
2.4. Pengekan Pada Beton	13
2.4.1. Syarat Pengekangan Beton	15
2.4.1. 1. Penulangan Kolom dan Persyaratan Untuk kolom	16
2.4.2. Pengekangan Beton Dengan Tulangan Transversal Konvensional	17
2.5. Persyaratan Tulangan Transversal	18
2.5.1. Penampang Bulat	19
2.5.2. Penampang Persegi	19

2.6. Kolom Pendek Dengan Beban Eksentrik	19
2.7. Analisa Kekuatan Kolom	20
2.7.1. Kolom Persegi	20
2.8. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton.....	22
2.9. Diagram Tegangan-regangan Baja Tulangan	23
2.10. Daktilitas	25

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Studi Pustaka	30
3.2. Analisis Preliminary Penelitian	30
3.3. Parameter Penelitian	31
3.4. Pengujian di Laboratorium	32
3.4.1. Spesifikasi Material.....	32
3.4.2. Benda Uji	32
3.4.3. Peralatan Pengujian Silinder dan Kolom	39
3.4.4. Tahap Pelaksanaan Eksperimen.....	39
3.5. Model Analisis.....	40
3.6. Prediksi Analitis.....	41
3.6.1. Analisa Teoritis Kekuatan Kolom Terhadap Beban Aksial.....	42
3.7. Analisa Daktilitas Regangan Teoritis Kolom.....	77
3.8. Laporan Yang Akan Di Kerjakan	79
3.9. Bagan Alir Penelitian	81

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Laboratorium.....	82
4.1.1. Perancangan Campuran Beton	82
4.1.2. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder.....	82
4.1.3. Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan.....	83
4.2. Hasil Pengujian Tekan Kolom.....	84
4.2.1. Kolom Beton Terkekang KLP-1	84
4.2.2. Kolom Beton Terkekang KLP-2	88

4.2.3. Kolom Beton Terkekang KLP-3	92
4.2.4. Kolom Beton Terkekang KLP-6	97
4.2.5. Kolom Beton Terkekang KLP-7	101
4.2.6. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton Gabungan 5 Kolom.....	106
4.3. Hasil Analisa Daktilitas Regangan Kolom Eksperimen	108
4.4. Pembahasan Hasil Pengujian Analisa Teoritis Dan Eksperimental.....	111

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	117
5.2. Saran	119

DAFTAR PUSTAKA	120
-----------------------------	------------

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	: Perincian Benda Uji	33
Tabel 3.2	: Tegangan-Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal BJTPØ4,7 (KLP-1)	46
Tabel 3.3	: Tegangan-Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal BJTPØ4,7 (KLP-2)	53
Tabel 3.4	: Tegangan-Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal BJTPØ4,7 (KLP-3)	60
Tabel 3.5	: Tegangan-Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal BJTPØ4,7 (KLP-6)	67
Tabel 3.6	: Tegangan-Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal BJTPØ4,7 (KLP-7)	73
Tabel 3.7	: Rekapitulasi Perhitungan Analysis f'_{cc} , ϵ'_{cc} , ϵ'_{cu} dan P_{max}	76
Tabel 3.8	: Rekapitulasi Analisa Daktilitas Regangan Teoritis 5 Kolom	77
Tabel 4.1	: Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Betonl	83
Tabel 4.2	: Hasil Pengujian Tulangan Tarik Baja	84
Tabel 4.3	: Hasil Eksprimen Pengujian Kolom Beton KLP-1.	86
Tabel 4.4	: Hasil Eksprimen Pengujian Kolom Beton KLP-2.	90
Tabel 4.5	: Hasil Eksprimen Pengujian Kolom Beton KLP-3	95
Tabel 4.6	: Hasil Eksprimen Pengujian Kolom Beton KLP-6	99
Tabel 4.7	: Hasil Eksprimen Pengujian Kolom Beton KLP-7	104
Tabel 4.8	: Perincian perbedaan hasil analisa Eksperimen dengan hasil analisa Teoritis	106
Tabel 4.9	: Hasil Analisa Daktilitas Regangan Kolom Eksperimen	109
Tabel 4.10	: Gabungan Daktilitas Teoritis Dan Eksperimen 5 Jenis Kolom	111

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.7 : Kurva hubungan tegangan-regangan untuk pembebanan monotonic beton tak dikekang dan beton terkekang.....	23
Grafik 2.8 : Kurva hubungan tegangan-regangan baja tulangan	24
Grafik 2.9 : Kurva Definisi Daktilitas	26
Grafik 3.1 : Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis KLP-1	47
Grafik 3.2 : Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis KLP-2	54
Grafik 3.3 : Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis KLP-3	61
Grafik 3.4 : Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis KLP-6	68
Grafik 3.5 : Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis KLP-7	75
Grafik 3.6 : Kurva Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis 5 Jenis	76
Grafik 3.7 : Barchart Daktilitas Kolom	78
Grafik 3.8 : Barchart Beban Maksimun Dengan daktilitas	79
Grafik 4.1 : Grafik Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan Kolom Beton Teoritis Dan Eksperimental	87
Grafik 4.2 : Grafik Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan Kolom Beton Teoritis Dan Eksperimental	91
Grafik 4.3 : Grafik Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan Kolom Beton Teoritis Dan Eksperimental	96
Grafik 4.4 : Grafik Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan Kolom Beton Teoritis Dan Eksperimental	100
Grafik 4.5 : Grafik Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan Kolom Beton Teoritis Dan Eksperimental	105
Grafik 4.6 : Grafik Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan 5 Jenis Kolom Eksperimental	108

Grafik 4.7 : Barchart Gabungan Hubungan Tegangan dan Daktilitas 5 Jenis Kolom Beton Eksperimental.....	111
Grafik4.8 : Kurva Hasil Analisa Gabungan Tegangan-Regangan 5 Jenis kolom Beton Teoritis Dan Eksperimental.....	115
Grafik 4.9 : Barchart Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan Teoritis dan Eksperimental Eksperimental	116

DAFTAR NOTASI

$BJTP$ = Baja Tulangan Polos

$BJTU$ = Baja Tulangan Ulir

ρ_s = Rasio volumetrik tulangan spiral

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

f_{yh} = Kuat leleh tulangan spiral BJTP (MPa)

f_y = Kuat leleh tulangan longitudinal BJTP (MPa)

A_g = Luas total penampang kolom (mm^2)

ϵ_c = Regangan beton

ϵ_y = Regangan baja tulangan

f'_{lx} = Tegangan kekang efektif arah x penampang (MPa)

f'_{ly} = Tegangan kekang efektif arah y penampang (MPa)

P_x = Rasio luas penampang efektif sengkang terhadap inti beton terkekang arah x

P_y = Rasio luas penampang efektif sengkang terhadap inti beton terkekang arah y

K_e = Koefisien efektifitas pengekangan, penampang kolom persegi, $K_e = 0,75$

f'_{cc} = Kuat tekan beton terkekang (MPa)

ϵ_{co} = Regangan beton tidak terkekang pada saat tegangan maksimum

ϵ'_{cc} = Regangan beton terkekang pada saat tegangan maksimum

ϵ'_{cc1} = Regangan beton terkekang displacement satu

ϵ'_{cc2} = Regangan beton terkekang displacement dua

ϵ'_{cu} = Regangan beton ultimit

ϵ'_{sm} = Regangan baja tulangan pada tegangan tarik maksimum

ε'_{cm} = regangan beton terkekang maksimum

E_s = Modulus elastisitas baja tulangan(MPa)

E_c = Modulus elastisitas beton(MPa)

n = Perbandingan Modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton

A_s = Luas total tulangan longitudinal (mm²)

K = Rasio kuat tekan beton terkekang

Dial₁ = Displacement/penurunan satu

Dial₂ = Displacement/penurunan dua

L = Tinggi mula-mula kolom (mm)

P = Beban aksial (ton)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kolom merupakan batang tekan vertikal dari suatu rangka struktural yang berfungsi untuk mendukung balok penahan beban. Kolom dalam struktur bangunan sangat penting karena berfungsi meneruskan beban di atasnya seperti beban atap, beban balok dan beban plat ke tanah melalui pondasi. Dengan demikian keruntuhan kolom pada suatu struktur bangunan gedung dapat berakibat fatal para penghuni bangunan tersebut.

Seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi dalam bidang konstruksi bangunan khususnya bangunan gedung bertingkat yang di rancang oleh para arsitek saat ini yang sangat menghendaki estetika dari suatu struktur bangunan gedung, seringkali tidak menghendaki adanya talang tegak, instalasi listrik dan air yang tampak dari luar seperti pada bangunan-bangunan perumahan/kantor yang berbentuk minimalis, yang mana para arsitek tidak menghendaki pembuangan air kebawah (drainase) berupa talang kelihatan dari luar. Sehingga hal ini dapat menyulitkan para ahli struktur, karena mau tidak mau pipa drainase tersebut harus ditanamkan pada kolom. Dengan adanya lubang tersebut akan mengurangi luas penampang kolom sehingga kekuatan kolom tersebut akan berkurang.

Disamping pipa drainase yang berada ditengah-tengah penampang kolom (lubang utama), pada bangunan gedung banyak instalasi pipa lainnya seperti pipa

pembuangan air bersih, pipa pembuangan air kotor dan listrik yang harus tertanam pada dinding atau ruangan khusus. Kalau bangunan yang dirancang cukup besar dimana dimensi kolomnya juga besar, sementara tidak ada dindingnya seperti ruangan parkir mall, maka sangat efektif jika semua pipa ditanam dalam kolom. Dengan demikian ada kemungkinan dalam kolom tersebut ada lebih dari satu ubang. Menurut SNI-03-2847-2002 luas lubang pada penampang kolom dibatasi maksimum 4%.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas dengan mengingat pentingnya fungsi kolom pada sebuah struktur bangunan gedung, maka peneliti ingin mengetahui beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa besarnya pengaruh lubang vertikal tanpa tulangan pada kolom beton bertulang terhadap kapasitas dan daktilitasnya?
2. Berapa besarnya pengaruh lubang vertikal dengan tulangan pada kolom beton bertulang terhadap kuat tekan dan daktilitasnya?
3. Berapa besarnya pengaruh lubang vertikal yang berada disekitar lubang utama terhadap kuat tekan dan daktilitasnya?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Penelitian ini adalah *"untuk mengetahui pengaruh lubang sebesar 7,88 %, 13,93 %, dan 15,95 % pada penampang kolom beton bertulang terhadap kuat tekan dan daktilitas"*, dengan perincian sebagai berikut :

- a. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh besarnya lubang vertikal tanpa tulangan pada kolom beton bertulang terhadap kapasitas dan daktilitasnya.
- b. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh besarnya lubang vertikal dengan tulangan pada kolom beton bertulang terhadap kapasitas dan daktilitasnya.
- c. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh besarnya lubang vertikal yang berada disekitar lubang utama terhadap kuat tekan dan daktilitasnya.

1.4 Manfaat Penelitian

Saya harapkan dari penelitian pengaruh lubang pada kolom beton bertulang diharapkan mempunyai manfaat antara lain:

- a. Sebagai bahan pertimbangan bagi para ahli struktur dan arsitek dalam menentukan besarnya lubang talang tegak (drainase) dan pemasangan pipa lainnya pada kolom beton bertulang.
- b. Menambah serta memperluas informasi tentang pengaruh besarnya lubang yang berada disekitar lubang utama pada kolom beton bertulang terhadap kuat tekan dan daktilitasnya.
- c. Dari hasil penelitian , diharapkan pula menjadi salah satu informasi dan referensi awal bagi rekan-rekan Program Studi Teknik sipil Institut Teknologi Nasional Malang dalam menentukan dimensi kolom berlubang tanpa tulangan dan kolom berlubang dengan tulangan pada masa yang akan datang.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak menyimpang dari tujuan, maka diberi batasan berupa parameter-parameter perencanaan yang dipakai dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

- a. Mengetahui pengaruh besarnya lubang vertikal tanpa tulangan pada kolom beton bertulang terhadap kapasitas dan daktilitasnya.
- b. Mengetahui pengaruh besarnya lubang vertikal dengan tulangan pada kolom beton bertulang terhadap kapasitas dan daktilitasnya.
- c. Mengetahui pengaruh besarnya lubang vertikal yang berada disekitar lubang utama terhadap kuat tekan dan daktilitasnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perkembangan teknologi beton pada saat sekarang ini, membuat konstruksi beton semakin banyak dipilih sebagai bahan konstruksi. Konstruksi dari beton banyak memiliki keuntungan selain bahannya sangat mudah diperoleh, juga memiliki beberapa keuntungan antara lain harganya relatif lebih murah, mempunyai kekuatan tekan tinggi, mudah dalam pengangkutan dan pembentukan, serta mudah perawatannya, sehingga banyak bangunan – bangunan yang didirikan memilih konstruksi yang terbuat dari beton sebagai bahan materialnya.

Pemilihan beton sebagai konstruksi telah membuat para ahli beton menciptakan bahan tambahan (*admixture*) bagi beton. Bahan tambahan (*admixture*) merupakan bahan yang dianggap penting, terutama untuk konstruksi pada saat sekarang ini yang membutuhkan segala sesuatu yang serba praktis, efisien dan ekonomis, tanpa mengurangi mutu dari beton tersebut. Penggunaan bahan tambahan tersebut dimaksudkan untuk memperbaiki dan menambah sifat beton sesuai dengan sifat beton yang diinginkan.

Penggunaan bahan tambahan pada konstruksi belakangan ini telah berkembang dengan pesat seiring dengan pesatnya pembangunan di bidang konstruksi. Banyak penemuan baru yang dapat menggantikan cara-cara konvensional seperti di bidang kekuatan struktur, dimana telah ditemukan metode dan sistem yang semakin mudah

diaplikasikan serta hanya sedikit pertambahan dimensi dari struktur, sehingga tetap terjaga keindahan dari konstruksi tersebut

Gempa bumi merupakan salah satu penyebab kerusakan bangunan pemakaian struktur dengan berbagai fungsi dan kombinasi beban tergolong rentan, baik terhadap perubahan fungsi yang mengakibatkan pertambahan beban yang dipikul, maupun kemungkinan terjadinya kesalahan perhitungan pada saat perencanaan. Untuk mempertahankan dan meningkatkan kekuatan (*strengthening*) fungsi struktur tersebut, terutama struktur yang menahan beban aksial tekan dan momen lentur.

2.2 Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Kolom Berlubang

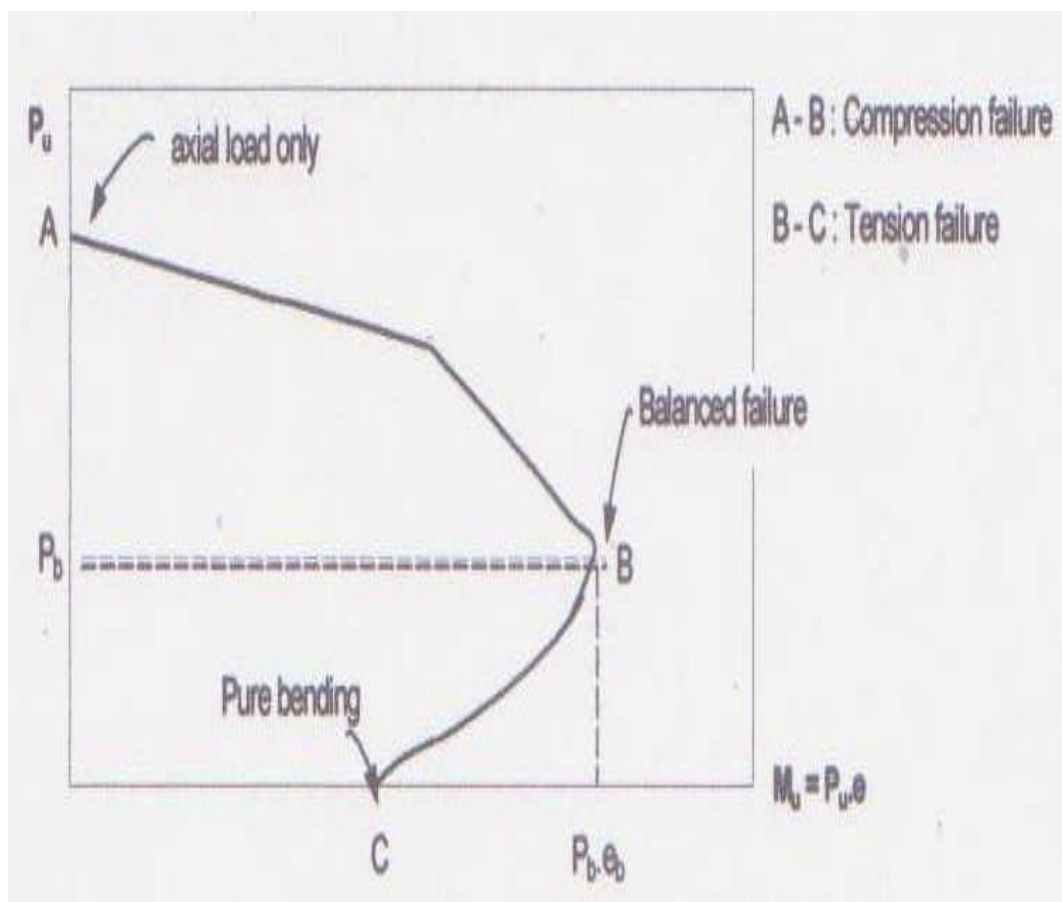
Penelitian yang telah dilakukan oleh **Bambang Sabariman**, dkk (2004) tentang efek pengekangan kolom berlubang beton mutu normal terhadap daktilitas kurvatur dengan variasi : rasio sengkang tunggal = 0,0184; rasio senkang rangkap = 0,0276; rasio tulangan memanjang = 0,0252; $f'_c = 26$ MPa, penampang kolom = $b \times h = 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$, panjang kolom(L) = 1100 mm, rasio lubang (0%; 4,53%, 7,07%), pada kedua ujung kolom diberikan aksial-tekan konstan $0,12f'_c A_g = 12,5$ ton, diberikan beban lateral terletak $1/3$ & $2/3$ bentang kolom untuk menimbulkan momen. Menghasilkan bahwa kekuatan momen kolom berlubang 4% masih menunjukkan kekuatan yang sama dengan kolom tak berlubang. Eksprimen ini juga mendapatkan daktilitas kurvatur rentang 6,14,8,49 (termasuk daktilitas terbatas). Jika rasio lubang melebihi 4%, maka akan menurunkan daktilitas kurvatur.

Selanjutnya hasil analisis kolom berlubang dengan program PCA COL yang dilakukan oleh **Renaningsih** (2006) tentang kolom berlubang dengan luas lubang (conduit) 7% dimana kolom berada di daerah keruntuhan tarik tidak menyebabkan

berkurangnya kekuatan kolom, sebaliknya jika berada dalam daerah keruntuhan tekan dan mengurangi kuat nominalnya 10,52%. Luas penampang lubang (*conduit*) boleh 7% asal letaknya benar-benar sentries ditengah-tengah kolom.

Sumber : *Dinamika Teknik Sipil, Volume 6, nomor 2, juli 2006 : 87-93*

Kekuatan kolom dalam memikul beban didasarkan pada kemampuannya memikul kombinasi beban axial (P_u) dan momen (M_u) secara bersamaan. Sehingga perencanaan kolom suatu struktur bangunan di dasarkan pada kekuatan dan kekakuan penampang kolom biasanya dibuat diagram interaksi, yaitu suatu grafik daerah batas yang menunjukkan ragam kombinasi beban aksial dan momen yang ditahan oleh kolom secara aman (Wahyudi, 1997)



Gambar 2.1 Tipikal Diagram Interaksi Kolom Berlubang (Sumber Park dkk 1975)

Pada diagram interaksi kolom diatas sumbu vertikal menunjukkan beban axial murni (*Axial Load Only*) yang dapat ditahan kolom sedang sumbu horizontal menunjukkan beban momen yang dapat ditahan oleh kolom.

Kolom yang mengalami beban axial murni (*Axial Load Only*) terjadi apabila kolom hanya menahan beban sentris pada penampangnya (tanpa eksentrisitas). Pada kondisi ini gaya luar akan ditahan oleh penampang kolom yang secara matematis dirumuskan dalam persamaan :

$$P_n = 0,8 \times \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y\}$$

apabila beban P bergeser dari sumbu kolom, maka timbul eksentrisitas beban pada penampang kolom, sehingga kolom harus memikul kombinasi pembebanan aksial dan momen.

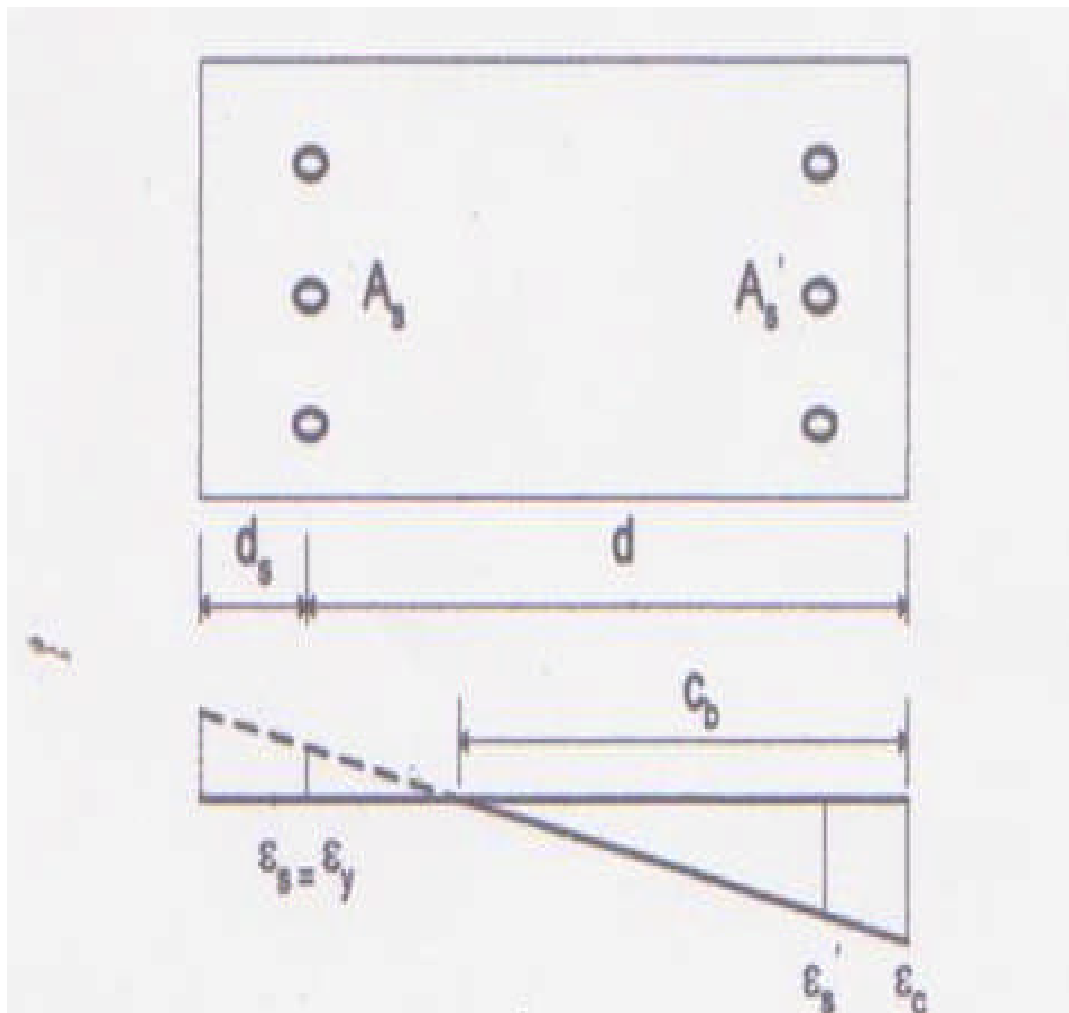
Pada kolom yang mengalami beban eksentris, apabila besarnya beban aksial dan momen yang ditahan oleh kolom diplotkan dalam gambar diagram interaksi kekuatan penampang kolom, maka akan terdapat 4 jenis kondisi keruntuhan penampang kolom. Jenis-jenis kondisi keruntuhan kolom tersebut adalah sebagai berikut :

1. Kondisi keruntuhan tekan
2. Kondisi keruntuhan balance
3. Kondisi keruntuhan tarik
4. Kondisi lentur murni

Kondisi keruntuhan tekan (*Compression failure*) terjadi apabila P bergeser sedikit dari sumbu penampang kolom, sehingga sebagian kecil penampang kolom akan mengalami kondisi tekan. Kondisi ini mengakibatkan jarak garis netral penampang

kolom lebih besar dari nilai c balance, yaitu jarak garis netral kolom pada keadaan setimbang.

Kondisi keruntuhan berimbang (*balance failure*) terjadi apabila eksentrisitas beban P bergeser lebih besar dari kondisi keruntuhan tekan, maka akan tercapai regangan tarik tulangan mencapai leleh ($f_s=f_y$) dan bersamaan itu regangan tekan beton mencapai maksimal ($\epsilon_c=0,003$)



Gambar 2.2 Diagram Regangan Kolom Pada Keadaan Setimbang

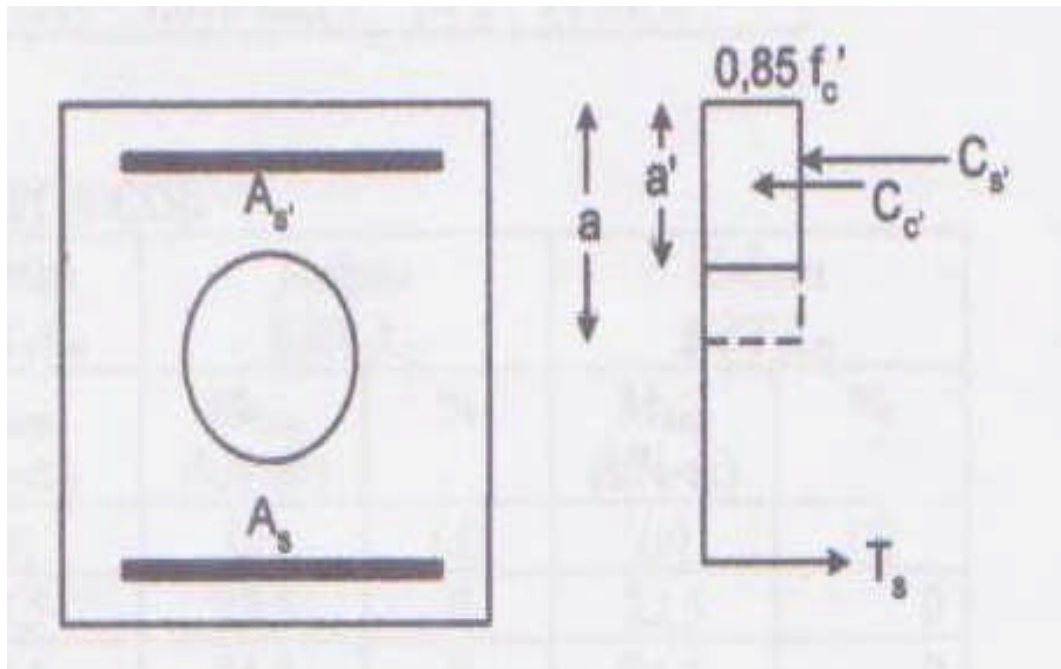
(Sumber Asromi,2001)

Jarak garis netral penampang kolom dalam berimbang (*c balance*) dengan anggapan nilai $\varepsilon_c = 0,003$ dan $\varepsilon_s = 200000$ MPa dapat diperoleh dengan persamaan

$$c_b = \frac{\varepsilon_c \cdot d}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y}$$

Kondisi keruntuhan tarik (*Tension Failure*) didalam diagram interaksi terjadi apabila eksentrisitas beban P bergeser sedikit lagi dari kondisi setimbang, maka luas penampang kolom yang mengalami kondisi tarik semakin besar dan luas penampang kolom yang mengalami kondisi tekan semakin kecil. Apabila penampang kolom hanya menerima momen saja (*pure bending*) maka penampang kolom dilakukan seperti perhitungan balok biasa.

Pada kolom yang berlubang, maka kekuatan menahan beban axial akan menurun disebabkan berkurangnya luas penampang kolom. Sedangkan kekuatan memikul momen akan menurun manakala tinggi blok beton (*a*) mencapai lubang kolom, disebabkan berkurangnya luas penampang akibat lubang di dalam kolom. Tinggi blok tekan kolom akan mengalami penyesuaian menjadi *a'* dan gaya tekan beton juga mengalami penurunan menjadi *Cc'*.



Gambar 2.3 Diagram Tegangan Penampang Kolom Berlubang

2.3 Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Beton Terkekang

Penelitian awal untuk mengetahui perilaku atau karakteristik beton terkekang telah dilakukan oleh **Richart** dkk. pada *Normal Strength Concrete* (NSC) yang dikekang dengan tekanan hidrostatik dan tulangan spiral. Hasil risetnya yang terkenal yakni rumusan tegangan $f'_{cc} = f'_c + 4,1f_l$ (Blume, 1961). Selanjutnya riset tentang perkekangan terus berlanjut dilakukan oleh **Chan** (1955), **Roy** dan **Sozen** (1963), **Slimon** dan Yu (1967), **Sargi** (1971), **Kent** dan **Park** (1971), **Vallenas**, dkk (1977) **Dark**, dkk (1982), yang menghasilkan model-model pengekekangan NSC. Riset-riset ini meneliti pengaruh ukuran, kekuatan, jumlah dan spasi tulangan trasversal longitudinal.

Penelitian yang dilakukan sebelum tahun 1980 umumnya tidak memperlihatkan adanya pengaruh distribusi tulangan longitudinal dan konfigurasi

tulangan trasversal. Pengaruh ini terbukti signifikan mempengaruhi karakteristik perkekangan berdasarkan penelitian Sheikh dan **Uzumeri** (1982) pada kolom yang dibebani aksial tekan konsentrik dan eksentrik secara monotonik, serta **Ozcebe** dan Saat **Cioglu** (1987) serta Fafitis dan Shah (1985) belum memasukan konfigurasi tulangan transversal sebagai parameter yang menentukan di dalam pemodelannya. Pengaruh konfigurasi tulangan transversal pertama kali dikemukakan oleh **Sheikh** dan **Uzumeri** (1982) yang mengutarakan konsep” *Luas efektif inti terkekang (effectively confined core area)*”. Selanjutnya model ini dimodifikasi oleh Sheikh dan **Yeh** (1986,1992) dengan memasukan peggaruh tulangan longitudinal dan eksentrisitas beban aksial tekan pada benda uji kolom di bawah pembebanan tekan yang tinggi.

Metode teoritis beton terkekang yang komprehensif menggunakan konsep ”*luas efektif inti terkekang*” diusulkan oleh **Mander**, dkk (1988) berdasarkan benda uji kolom persegi. Selanjutnya, Saat **Cioglu** dan **Razvi** (1992) mengajukan konsep kekuatan dan deformasi (*strength and deformability*) yang dihasilkan oleh tekanan lateral tulangan perkekang. Model didasarkan bukti bahwa tekanan lateral ekivalen yang berasal dari tulangan kekang berbeda-beda besarnya, tergantung konfigurasi tulangan perkekangnya. Model ini di terapkan pada kolom penampang bulat dan persegi dengan pembebanan konsentrik maupun eksentrik.

Berdasarkan penelitian **Yong**, dkk (1988) dan **Razvi** (1995). Saat ini model-model perkekangan untuk *High Strength Concete* (HSC) telah banyak di usulkan, umumnya merupakan modifikasi model-model NSC yang telah ada. Model-model sering kali memiliki keterbatasan, misalnya mosed **Ahmad** dan **Shan** (1982), **Martinez**, dkk (1988), **Fafitis** dan **Shah** (1985) hanya sesuai untuk kolom bulat. Model **Yong**, dkk (1988), **Muguruma**, dkk. (1993), **Azzinamimi**, dkk. (1994) serta

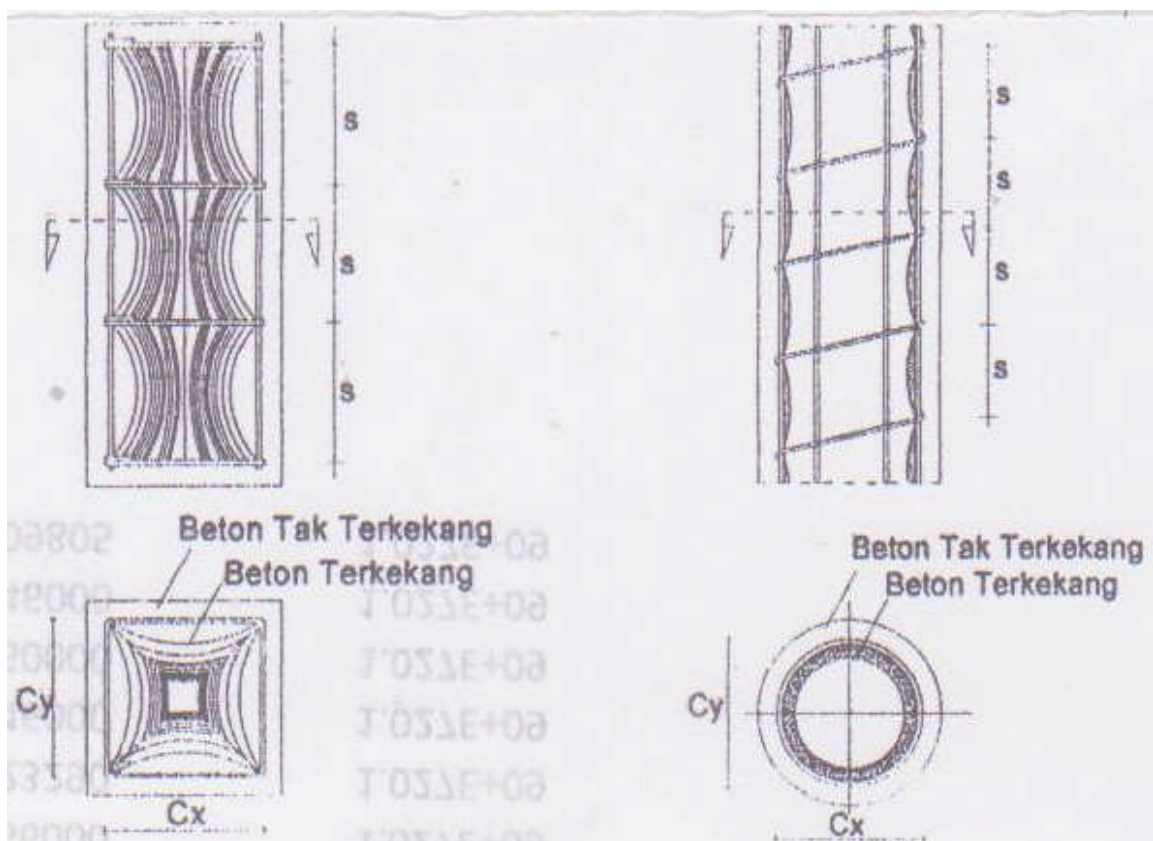
Cusson dan **Paultre** (1995) hanya sesuai untuk kolom persegi. Akan tetapi model **Maguruma** (1993) dan **Li**, dkk. (2001) dapat di terapkan baik untuk NSC dan HSC serta tulangan transversal mutu tinggi. Berbeba dengan model **Hong** dan **Han** (2005) yang di turunkan berdasarkan pada kolom persegi HSC, model tersebut menunjukan peningkatan tegangan leleh tulangan transversal tidak terlalu meningkatkan pengaruh pada inti beton.

2.4 Pengekangan Pada Beton

Pengekangan pada beton perlu dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.4.4 agar elemen struktur baik balok maupun kolom tidak mengalami kegagalan akibat gaya geser. Tulangan transversal sangat berperang dalam mengekang pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mengurangi bahaya pecah beton (*aplitting*) beton, mencegah terjadinya keruntuhan geser pada kolom, dan mencegah *premature buckling* tulangan longitudinal yang dapat mempengaruhi kekuatan daktilitas penampang kolom betong bertulang. Semakin tinggi beban aksial yang bekerja terhadap kolom, semakin banyak tulangan transversal yang diperlukan agar struktur kolom tersebut lebih kuat dan daktil.

Beton dapat dikekang dengan tulangan sengkang yang berbentuk sengkang tunggal biasa (*hoop*), sengkang pengikat silang (*crossties*) atau sengkang tumpuk (*overlapping hoops*) dan sengkang bulat atau spiral. Lilitan sengkang bulat atau spiral memberikan tekanan (*confined*) disekeliling penampang, karena ditahan oleh tulangan longitudinal pada keliling lingkarang. Sedangkan persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut karena ditahan oleh tulangan longitudinal pada sudut-sudut sengkang.

Kemampuan deformasi dari beton akan meningkat dengan adanya pengekanan, dan dapat mencapai regangan yang lebih tinggi pada puncak pembebanan. Besarnya regangan pada saat dicapainya tegangan puncak sangat tergantung pada efektifitas pengekanan yang dipasang. Pada penampang persegi daerah efektif terkekang tidak sebaik pada penampang bulat. Daerah efektif terkekang penampang persegi akan semakin meningkat apabila sudut bengkokan (*hook*) yang dipasang tulangan longitudinal semakin besar. Beton yang terkekang secara efektif dapat dinyatakan dalam daerah inti beton ketika tegangan kekang sepenuhnya terbentuk akibat busur (*arching action*), seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.4. a dan 2.4. b



Gambar 2.4 (a) Pengekangan dengan Tulangan Sengkang

(b) Pengekangan dengan Tulangan Spiral

2.4.1 Syarat Pengekangan Beton

1. Tulangan sengkang dapat berupa tulangan tunggal atau *hoops overlapping*.
Tulangan transversal dengan ukuran dan spasi sebagai hoops dapat digunakan.
2. Jika kekuatan desain beton cor memenuhi persyaratan kombinasi pembebanan yang ditetapkan termasuk gempa persamaan (2.9) tidak perlu dipakai.

$$\varepsilon_{cc} = \frac{1,71 \cdot (5f'_{cc} - 4f'_c)}{E_c} \dots\dots\dots(2.1)$$

3. Tulangan transversal memiliki spasi (s) tidak kurang dari :

- a. Menahan gaya geser :

$$s \leq 16 \times \text{diameter tulangan longitudinal}$$

$$s \leq 48 \times \text{diameter tulangan transversal}$$

$$s \leq \text{dimensi terkecil penampang kolom}$$

- b. Menciptakan Daktilitas beton :

$$s \leq \frac{1}{4} \text{ dimensi terkecil penampang kolom}$$

$$s \leq 150 \text{ mm}$$

- c. Mencegah tekuk tulangan longitudinal :

$$s \leq \frac{1}{4} \text{ dimensi terkecil penampang kolom}$$

$$s \leq 6 \times \text{diameter tulangan longitudinal}$$

$$s \leq S_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

- d. Melindungi sambungan lewatan tulangan longitudinal :

$$s \leq \frac{1}{4} \text{ dimensi terkecil penampang kolom}$$

$$s \leq 150 \text{ mm}$$

2.4.1.1 Penulangan Kolom dan Persyaratan untuk Kolom

Persyaratan penulangan longitudinal kolom menurut SNI 03-2847-2002 pasal.12 (12.9.1-12.9.2) adalah sebagai berikut :

1. Batasan rasio tulangan longitudinal minimum :

$$\rho_{\min} = 1 \% \times A_g \dots\dots\dots (2.2)$$

2. Batasan rasio tulangan longitudinal maksimum :

$$\rho_{\max} = 8 \% \times A_g \dots\dots\dots (2.3)$$

3. Mempunyai gaya tekan aksial :

$$P > 0,10. A_g. f'c \dots\dots\dots (2.4)$$

4. Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam sengkang ikat persegi, 3 untuk batang tulangan di dalam sengkang ikat segitiga dan 6 untuk batang tulangan yang dikelilingi oleh sengkang.

5. Dimensi penampang terpendek, diukur pada satu garis lurus yang melalui titik berat penampang, tidak boleh kurang dari 300 mm.

6. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi yang tegak lurus padanya tidak boleh kurang dari 0,4.

7. 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.

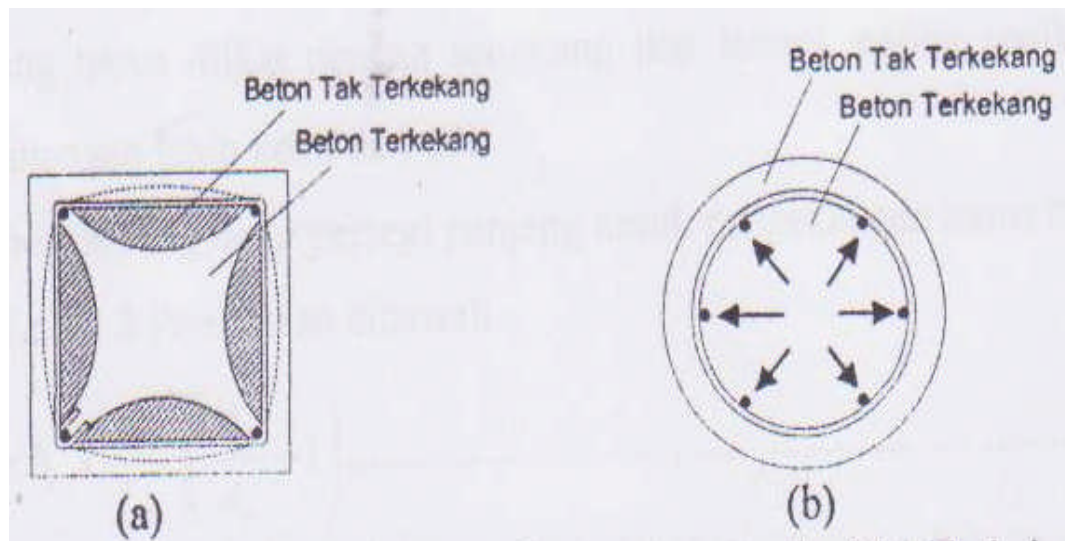
- Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, faktor panjang efektif k harus ditentukan dengan mempertimbangkan pengaruh dari keretakan dan tulangan terhadap kekakuan relatif dan harus lebih besar dari 1,0.

8. Radius girasi (jari-jari inersia) :

Pada komponen struktur tekan persegi, radius girasi (r) penampang kolom, boleh diambil sama dengan 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas kolom yang ditinjau, dan sama dengan 0,25 kali diameter penampang untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk bentuk penampang lainnya, r boleh dihitung dari penampang bruto.

2.4.2 Pengekangan Beton Dengan Tulangan Transversal Konvensional

Pengekangan pada beton dapat berupa tulangan sengkang yang berbentuk persegi dan tulangan spiral yang berbentuk bulat. Tulangan sengkang atau spiral berfungsi untuk memikul gaya geser, mengekang beton agar mengurangi resiko pecahnya beton, mencegah terjadinya tekuk pada tulangan memanjang kolom dan membuat lebih kaku sambungan tulangan memanjang. Sengkang persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut-sudut sengkang yang terpasang tulangan longitudinal, sedangkan lilitan sengkang pada penampang bulat memberikan gaya kekang pada semua sisi spiral. Penampang beton yang diberikan tulangan sengkang (tulangan transversal) dengan detailing yang benar akan meningkatkan kuat tekan dan daktilitas beton. **(Park and Paulay 1975).**



- a. Kolom terkekang dengan sengkang b. Kolom terkekang dengan sengkang

Gambar 2.5 Kolom Dengan Tulangan Longitudinal

2.5 Persyaratan Tulangan Transversal

Pada perancangan struktur kolom beton bertulang tahan gempa menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.4 dan ACI 813-2005, harus diberi detailing khusus (tulangan kekang transversal) agar dapat di capai daktilitas yang disyaratkan, terutama di daerah yang berpotensi/ yang di rancang sebagai sendi plastis, dimana luas total penampang sengkang tertutup persegi berupa sengkang tunggal (*single ties*) atau sengkang tumpuk (*overlapping hoops*) dengan atau tanpa tulangan pengikat silang (*Crossties*) yang disyaratkan tidak boleh kurang daripada yang ditentukan pada dua persamaan dibawah ini :

2.5.1 Penampang Bulat

1. Rasio volumetrik sengkang atau tulangan spiral ρ_s tidak boleh kurang dari :

$$\rho_s = 0,12 \frac{f'_c}{f_{yh}} \dots\dots\dots (2.5)$$

di mana :

f_{yh} = tegangan leleh tulangan sengkang tidak boleh lebih besar 420 MPa

Nilai ρ_s di atas tidak boleh kurang dari :

$$\rho_s = 0,45 \frac{\left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) f'_c}{f_y} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.5.2 Penampang Persegi

Ketentuan pasal 9.10.(5(1)) SNI 03-2847-2002, untuk semua tulangan non-prategang harus diikat dengan sengkang ikat lateral, paling sedikit ukuran Ø10 untuk tulangan lebih kecil dari Ø32

Total luas tulangan sengkang persegi tidak boleh kurang dari :

$$A_{sh} = 0,3 \left[\frac{s \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right] \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \dots\dots\dots (2.7)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.6 Kolom Pendek dengan Beban Eksentrik

Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh duluan karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short column*).

Mengenai batasan kolom langsing untuk non ***Sway Mechanism*** diberikan dalam ACI 318-05 yang menyatakan bahwa faktor kelangsingan kolom dapat diabaikan jika memenuhi syarat :

$$\frac{k \cdot \lambda u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

Kapasitas beban sentries maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st}) \cdot f'_c$ dan kontribusi baja, $A_{st} \cdot f_y$, yang digunakan dalam perhitungan adalah f'_c dengan demikian kapasitas beban sentries maks adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

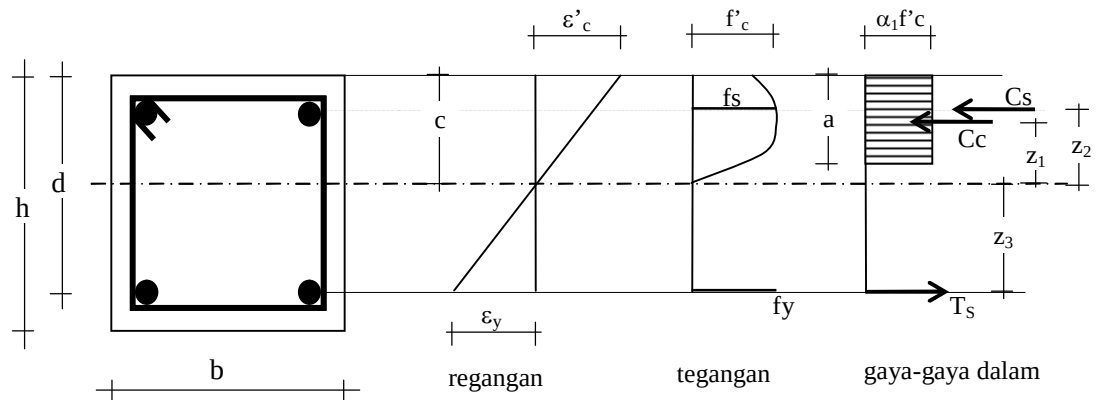
$$P_o = f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\phi P_{n(max)} = 0,8 \phi \cdot [f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \dots\dots\dots (2.11)$$

2.7 Analisa Kekuatan Kolom

2.7.1. Kolom Persegi

Perhitungan perencanaan kolom mula-mula pada diagram gaya-gaya dalam terlihat bahwa kekuatan kolom hanya disumbangkan oleh tulangan tarik (T_s), tulangan Tekan (C_s) dan daerah blok tegangan tekan (C_c). (Salmon and Wang 1984).



Gambar 2.6. Diagram regangan dan tegangan serta gaya-gaya dalam kolom

Tinggi garis netral dari serat tekan terluar (c) :

$$c = \frac{d \cdot \varepsilon'_c}{(\varepsilon'_c + \varepsilon_y)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Tinggi blok tegangan (a) :

$$a = \beta_1 \cdot c \dots\dots\dots (2.13)$$

di mana :

$\beta_1 = 0,85$ jika $f'_c \leq 30$ MPa, dan

$\beta_1 = \{0,85 \cdot [(f'_c - 30) \cdot 0,008]\}$, jika $f'_c > 30$ MPa

Gaya tekan beton (C_c):

$$C_c = \alpha \cdot f'_c \cdot b \cdot a \dots\dots\dots (2.14)$$

Gaya Tekan baja tulangan (C_{s1}) :

$$C_s = A'_s (f_y - 0,85 \cdot f'_c) \dots\dots\dots (2.15)$$

Gaya tarik baja tulangan (T_s) :

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.16)$$

Gaya tekan seimbang P_b :

$$P_b = C_c + C_{s1} - T_s \leq \phi \cdot P_{n(\text{maks})} \dots\dots\dots (2.17)$$

Kuat Momen M_n :

$$M_n = C_c \cdot z_1 + C_s \cdot z_2 + T_s \cdot z_3 \dots\dots\dots (2.18)$$

di mana :

$$z_1 = c - \frac{a}{2} \dots\dots\dots (2.18a)$$

$$z_2 = c - d' \dots\dots\dots (2.18b)$$

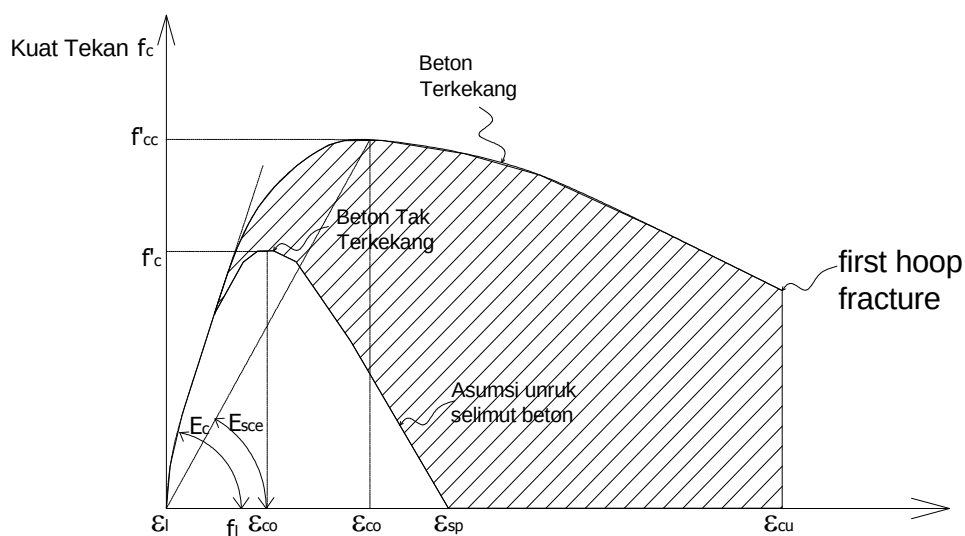
$$z_3 = d - c \dots\dots\dots (2.18c)$$

Syarat kuat beban aksial untuk kolom dengan tulangan sengkang adalah :

$$\phi \cdot P_{n(maks)} = 0,80 \cdot \phi \cdot \{ 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \} \dots\dots\dots (2.19)$$

2.8 Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton

Mander, Priestley dan Park (1988) memberikan gambaran hubungan tegangan-regangan tekan pada beton, kekuatan tekan dan regangan beton akan meningkat akibat adanya pengekanan, seperti terlihat dalam Gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 Kurva hubungan tegangan-regangan untuk pembebanan monotonik beton tak dikekang dan beton terkekang

Untuk penampang beton terkekang :

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$f'_{ly} = K_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f_c} \right) \dots\dots\dots(2.22)$$

$$f'_{cc} = K \cdot f'_c \dots\dots\dots(2.23)$$

$$f_c = \frac{f'_{cc} \times x \times r}{r - 1 + x^r} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{scc}} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Regangan tekan puncak beton terkekang

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(f'_{cc} / f'_c - 1 \right) \right] \dots\dots\dots(2.28)$$

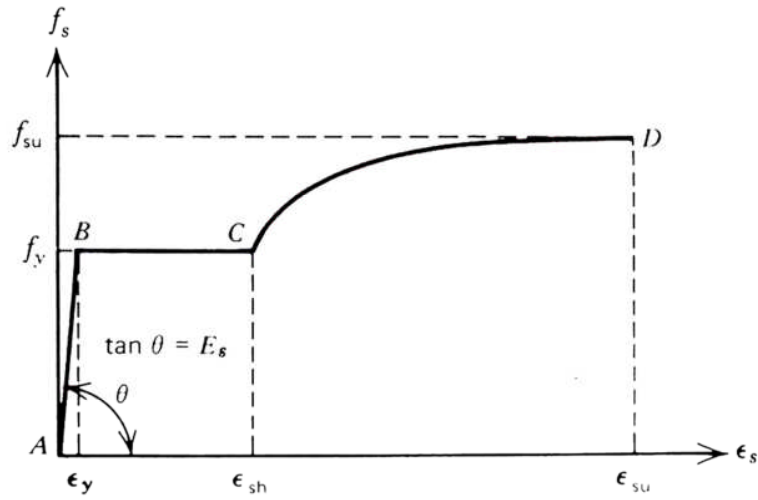
Regangan ultimit beton terkekang adalah

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\varepsilon_{sm}}{f'_{cc}} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0,002 \cdot f'_c}{f'_c - 1000} \dots\dots\dots \text{(pers.2.30)}$$

2.9 Diagram Tegangan-Regangan Baja Tulangan

Park and Paulay 1975, memberikan bentuk diagram hubungan tegangan dan regangan baja tulangan pada saat menerima gaya tarik atau gaya tekan seperti terlihat dalam Gambar 2.8 di bawah ini :



Gambar 2.8. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan

Pada kurva tersebut dapat dilihat karakteristik-karakteristik sebagai berikut :

Daerah AB : $\epsilon_s \leq \epsilon_y$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \dots\dots\dots(2.31)$$

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

$$f_s = f_y \dots\dots\dots(2.32)$$

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

$$f_s = f_y \left[\frac{m(\epsilon_s - \epsilon_{sh}) + 2}{60(\epsilon_s - \epsilon_{sh}) + 2} + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{sh})(60 - m)}{2(30.r + 1)^2} \right] \dots\dots\dots(2.33)$$

$$m = \frac{\left(\frac{f_{su}}{f_y} \right) (30r + 1)^2 - 60.r - 1}{15.r^2} \dots\dots\dots(2.34)$$

di mana :

$$r = \epsilon_{su} - \epsilon_{sh} \dots\dots\dots(2.35)$$

2.10 Daktilitas

Kemampuan sebuah struktur atau komponen untuk menahan respon inelastik, termasuk lendutan terbesar dan menyerap energi, disebut daktilitas. Pada dasarnya daktilitas dibagi atas beberapa jenis. Hal ini terjadi karena adanya beberapa pengertian yang timbul. Pengertian daktilitas dapat ditinjau dari tiga jenis metode perhitungan. Namun dalam penelitian ini hanya membahas 2 jenis metode perhitungan daktilitas yaitu daktilitas dapat ditinjau dari segi tegangan (*strain*), dan lengkungan (*curvature*).

Sumber yohannes Arief N. Siregar, FT UI, 2008

a. Daktilitas Tegangan (*Strain Ductility*)

Pengertian dasar dari daktilitas adalah kemampuan dari material/ struktur untuk menahan tegangan plastis tanpa penurunan yang drastis dari tegangan. Daktilitas tegangan dapat diberikan dengan hubungan :

$$\mu = \frac{\epsilon}{\epsilon_y} \dots\dots\dots(2.36)$$

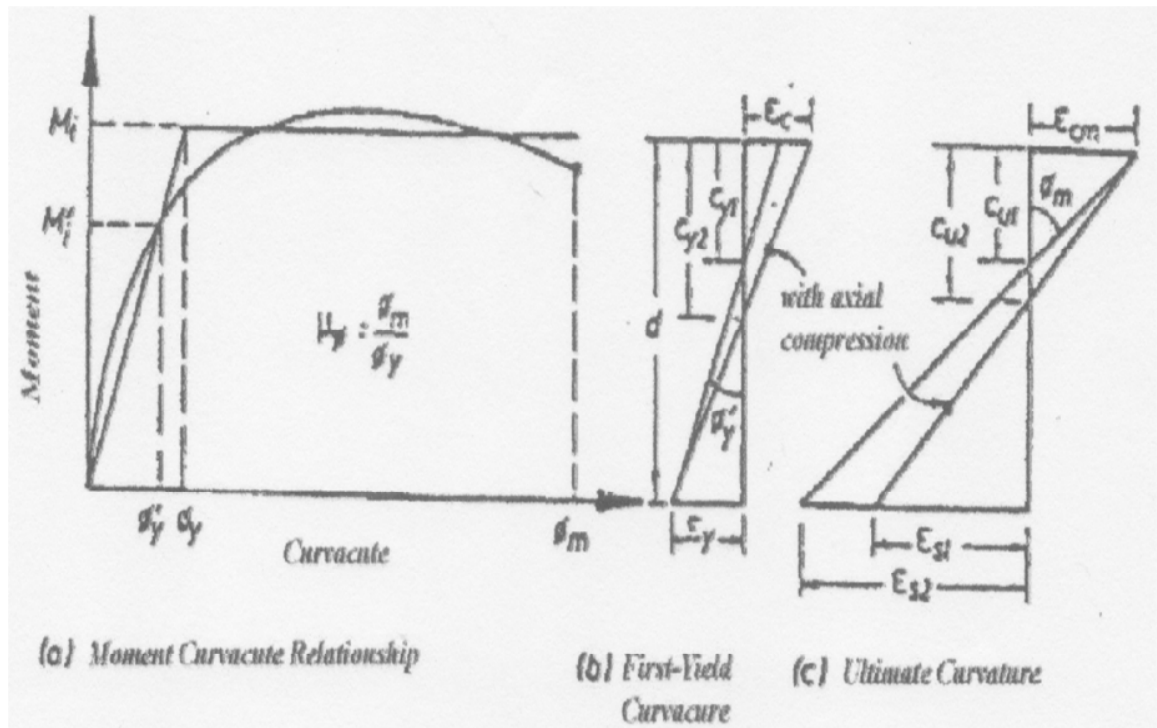
Dimana ϵ adalah total regangan yang terjadi dan ϵ_y adalah tegangan pada saat leleh.

Daktilitas yang sangat berpengaruh pada struktur dapat tercapai pada panjang tertentu pada salah satu bagian dari struktur tersebut. Jika tegangan inelastik dibatasi dengan panjang yang sangat pendek, maka akan terjadi penambahan yang besar pada daktilitas tegangan. Daktilitas tegangan merupakan daktilitas yang dimiliki oleh material yang digunakan. *Sumber yohannes Arief N. Siregar, FT UI, 2008*

b. Daktilitas Lengkungan (*Curvature Ductility*)

Pada umumnya sumber yang paling berpengaruh dari lendutan struktur inelastis adalah rotasi pada sambungan plastis yang paling potensial. Sehingga, ini sangat berguna untuk menghubungkan rotasi per unit panjang (*curvature*) dengan

moment bending ujung. Daktilitas lengkungan maksimum dapat ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 2.9 Definisi dari Curvature Ductility

$$\mu_\phi = \frac{\phi_m}{\phi_y} \dots\dots\dots(3.37)$$

Dimana :

adalah lengkungan maksimum yang akan timbul

adalah lengkungan pada saat leleh.

Curvature ductility ini merupakan daktilitas yang diberikan oleh penulangan struktur.

Sumber yohannes Arief N. Siregar, FT UI, 2008

Yield Curvature. Penentuan daktilitas rencana dapat dilihat dari hubungan daktilitas dan faktor reduksi. Hubungan tersebut dapat divariasikan dengan pendekatan hubungan gaya struktur dan lendutan pada keadaan elestoplastis atau bilinear.

Ini berarti bahwa *yield curvature* ϕ_y tidak perlu pertepatan dengan titik leleh pertama dari gaya regang, dimana pada umumnya berada pada titik yang lebih rendah ϕ_y (Gambar 2.2 (a)), pada kenyataannya jika gaya didistribusikan di seluruh bagian seperti yang terjadi pada kasus kolom.

Untuk kasus umum ini, *yield curvature* pertama ϕ'_y seperti yang diberikan pada Gambar 2.2.(b) ditunjukkan dengan :

$$\phi'_y = \frac{\epsilon_y}{d - c_y} \dots\dots\dots(2.38)$$

$$\text{Dimana } \epsilon_y = f_y / E_s \dots\dots\dots(2.38a)$$

C_y = jarak dari luar ke garis netral. Dengan mengestrapolasi linear ke Momen M_i , seperti Gambar 2.2.(a), *yield curvature* ϕ_y ditunjukkan sebagai,

$$\phi_y = \frac{M_i}{M'_i} \dots\dots\dots(2.37)$$

Jika potongan tersebut memiliki rasio gaya yang tinggi, atau gaya axial terpusat yang besar, gaya tekan tahanan yang terjadi dapat terjadi sebelum leleh pertama terjadi.

Untuk kasus seperti ini *yield curvature* dapat diberikan sebagai :

$$\phi'_y = \frac{\epsilon_y}{c_y} \dots\dots\dots(2.39)$$

Dimana ϵ_c diambil sebesar 0,0015. Untuk hubungan antara ϕ_y dan ϕ'_y dengan

$M'_i = 0,75 \cdot M_i$ = dapat ditunjukkan sebagai :

$$\phi_y = 1,33 \cdot \phi'_y$$

a. *Maximum Curvature*. Curvature maksimum yang ada pada potongan, atau *Ultimate Curvature* yang lebih umum disebutkan, akan dikontrol oleh *compression strain* maksimum ϵ_{cm} pada serat terluar. Berdasar pada grafik Gambar 2.2.(c), curvature ini dapat dituliskan sebagai :

$$\Phi_m = \frac{\epsilon_m}{c_u} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dimana C_u adalah jarak garis netral pada saat ultimate.

b. *Factors Affecting Curvature Ductility*. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi *curvature ductility*. Pada penulisan ini tidak akan dibahas secara mendalam.

Faktor utama dari *curvature ductility* ini adalah *ultimate compression strain* ϵ_{cm}

Parameter lainnya adalah :

- *axial force, compression strength, dan reinforcement yield strength, Axial Force*.

Seperti yang dilihat pada Gambar 2.2.(b) dan (c), keberadaan gaya aksial dapat meningkatkan tinggi dari daerah tekan baik pada pelelehan pertama C_{y_2} dan pada ultimate C_{u_2} . Pada saat tekanan dengan kondisi tanpa gaya aksial (C_{y_1} dan C_{u_1} gaya aksial meningkatkan nilai Φ_y , dan menurunkan nilai Φ_u Sehingga, gaya tekan aksial dapat sangat mereduksi kapasitas daktilitas pada bagian tersebut. Sebagai hasilnya, memperkecil selimut beton sangat diharapkan pada bagian bawah kolom daktil. Kesimpulannya, keberadaan gaya tekan aksial dapat meningkatkan kapasitas daktilitas.

- *Compression Strength*. Meningkatnya kuat tekan pada beton atau bata adalah lawan dari efek gaya aksial: jarak garis netral pada saat leleh dan ultimate kedua-duanya direduksi, sehingga terjadi reduksi yield curvature dan peningkatan ultimate curvature. Oleh karena itu, peningkatan kuat tekan adalah cara yang efisien untuk meningkatkan kapasitas daktilitas.

- *Reinforcement Yield Strength*. Jika permintaan gaya regangan dilakukan dengan pengreduksian daerah gaya dari kuat leleh tertinggi, ultimate curvature tidak akan

terpengaruhi jika tidak tegangan baja melebihi kekuatan tegangan ultimate terendah. Bagaimanapun juga, penambahan tegangan leleh ϵ_y berarti yield curvature akan bertambah. Untuk meningkatkan curvature ductility, hal yang dapat dilakukan adalah dengan memperkuat tulangan tekan atau memperlemah tulangan tarik. Jika dilihat dari Gambar 2.2, dengan memperlemah tulangan tarik, maka akan mempercepat terjadinya leleh pertama. Hal lain yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan tulangan geser. *Sumber yohannes Arief N. Siregar, FT UI, 2008*

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Studi Pustaka

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

3.2 Analisis Preliminary Penelitian

Penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang dan Laboratorium Beton Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya mulai dari pengujian bahan dasar sampai pada pelaksanaan pengecoran, pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian benda uji.

Pemilihan spesimen didasarkan pada kondisi dan kapasitas alat pengujian kolom yaitu *Universal Testing Machine (UTM)* yang ada di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil, dan ITS Surabaya. Sesuai dengan kondisi alat tersebut, diperoleh tinggi maksimum specimen yang dapat diletakkan pada alat *UTM* adalah 900 cm, sehingga tinggi spesimen yang dibuat pada penelitian ini adalah 600 mm. Kapasitas beban maksimum alat *Universal Testing Machine (UTM)* adalah 200 ton.

3.3 Parameter Penelitian

Parameter-parameter perencanaan yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Kolom dengan penampang berbentuk persegi dengan ukuran penampang 150 x 150 mm (lebar $b = 150$ mm tinggi $h = 150$ mm) dengan panjang kolom 600 mm
- b. Tulangan longitudinal bagian tepi yang dipakai adalah tulangan baja ulir yaitu 4D9,05 mm dengan sengkang dari tulangan baja polos Ø4,7-150 mm.
- c. Lubang berbentuk lingkaran dari pipa PVC dengan tulangan longitudinal dari baja polos 6D5,7 mm, dan tulangan dari baja polos Ø4,7-150 mm
- d. Selimut beton kolom = 20 mm
- e. Mutu baja yang dipakai untuk sengkang dan spiral adalah $f_y = 223,120$ MPa, sedangkan mutu baja untuk tulangan ulir adalah 356,192 MPa
- f. Mutu beton yang dipakai adalah $f'_c = 9,64$ MPa
- g. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari
- h. Sement Portland yang digunakan adalah semen gresik tipe I, sesuai ASTM C150-02a
- i. Air yang digunakan sesuai ACI Committee 363, yakni air PDAM kota Malang
- j. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang memenuhi ASTM C33-02.
- k. Agregat halus yang digunakan adalah pasir kali yang memenuhi ASTM C33-02, C87-02 dan C136-02
- l. Lubang utama dengan luas penampang 47,5mm
- m. jumlah yang ditempatkan di sekitar lubang utama bervariasi : 6 dan 8 buah dengan diameter lubang 17 mm

3.4 Pengujian di Laboratorium

3.4.1 Spesifikasi Material

Tulangan longitudinal menggunakan baja tulangan ulir dengan diameter Ø9,05mm, tulangan transversal sengkang menggunakan baja tulangan polos diameter Ø4,7mm dengan jarak $s = 150$ mm, diameter lubang utama 47,5mm yang dikelilingi dengan 6 buah tulangan longitudinal diameter Ø5,6mm dengan jarak lilitan spiral $s = 90$ mm. Dan untuk lubang bervariasi yang ditempatkan sekeliling lubang utama sebanyak 6 buah dan 8 buah dengan diameter yang sama yaitu 17 mm.

3.4.2 Benda Uji

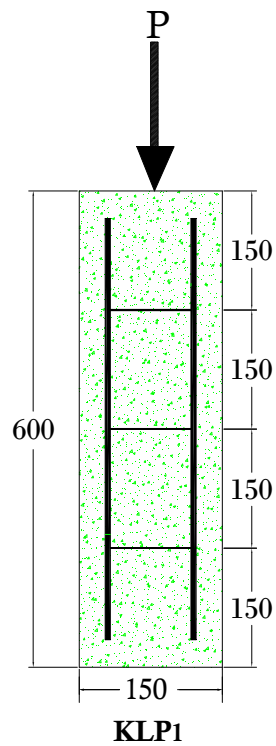
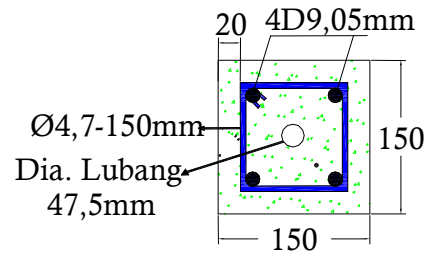
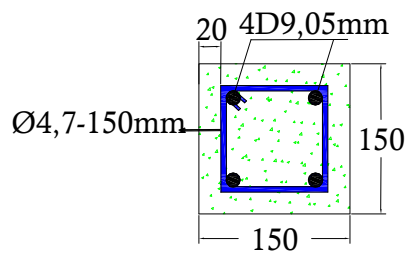
Pengujian yang dilakukan terdiri dari kolom persegi beton bertulang dengan tulangan longitudinal dengan tulangan transversal, tulangan longitudinal dan tulangan transversal di tambah dengan lubang utama, tulangan longitudinal dan tulangan transversal ditambah dengan lubang utama yang dikelilingi 6 buah tulangan longitudinal yang dililiti, tulangan longitudinal dan tulangan transversal ditambah dengan lubang utama yang dikelilingi 6 buah tulangan longitudinal yang dililiti di tambah 6 buah lubang bervariasi, serta tulangan longitudinal dan tulangan transversal ditambah dengan lubang utama yang dikelilingi 6 buah tulangan longitudinal yang dililiti di tambah dengan 8 buah lubang bervariasi.

Berikut ini adalah tabel perincian penelitian beberapa benda uji yang dilakukan adalah sebagai berikut :

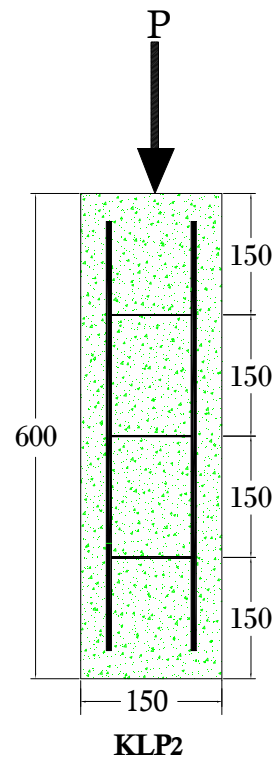
Tabel 3.1 Perincian Benda Uji

Kode Benda Uji	Dimensi Kolom	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal	Jumlah Lubang	Jumlah Benda Uji
KLP ₁	150x150 mm	4D9,05 mm	Ø4,7-150mm	-	3
KLP ₂	150x150 mm	4D9,05 mm	Ø4,7-150mm	1	3
KLP ₃	150x150 mm	4D9,05 mm dan 6Ø5,6 mm	Ø4,7-150mm	1	3
KLP ₆	150x150 mm	4D9,05 mm dan 6Ø5,6 mm	Ø4,7-150mm	7	3
KLP ₇	150x150 mm	4D9,05 mm dan 6Ø5,6 mm	Ø4,7-150mm	9	3

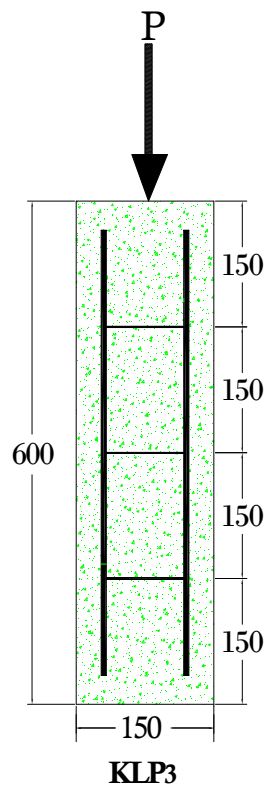
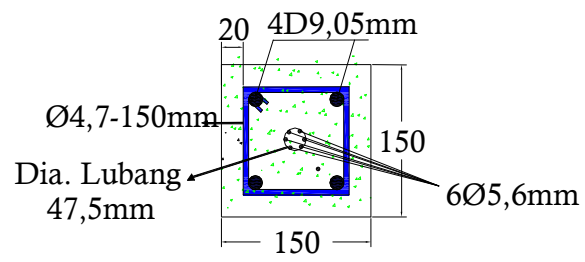
Adapun model dan bentuk beberapa benda uji seperti pada gambar di bawah ini :



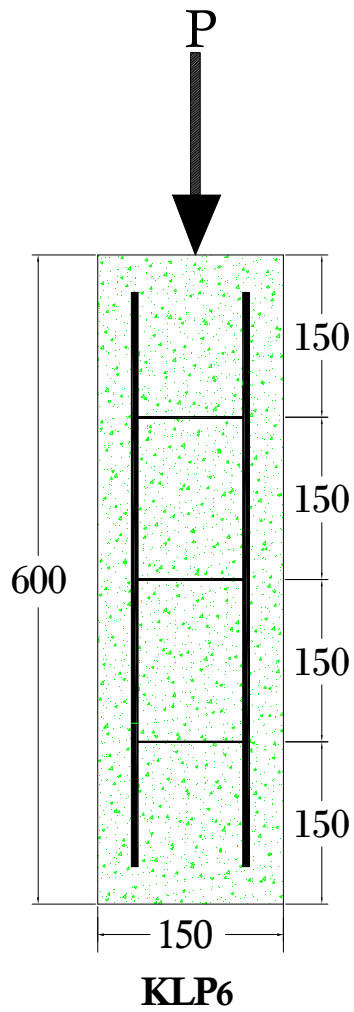
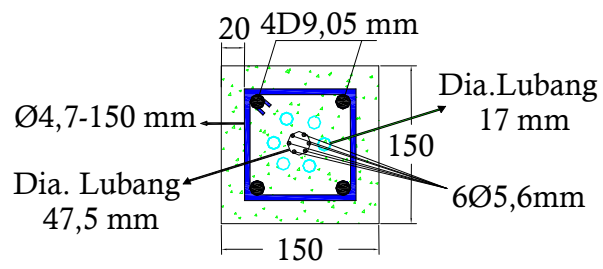
a).Gambar 3.1 benda uji KLP_1



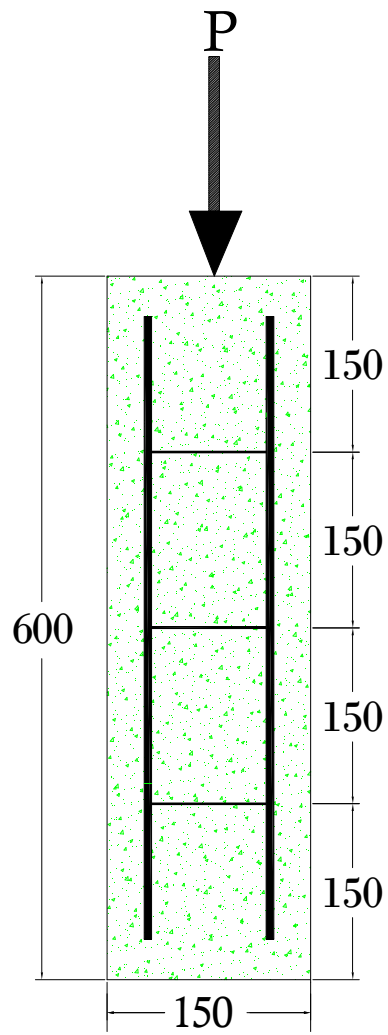
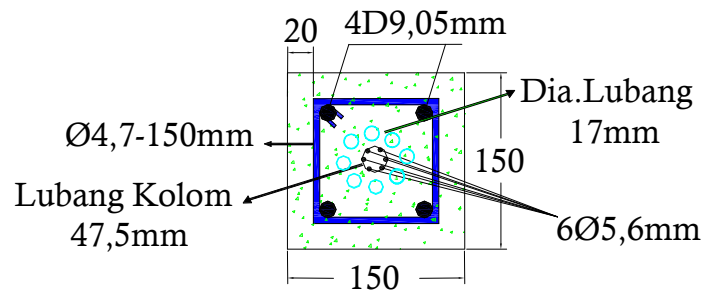
b).Gambar 3.2 benda uji KLP_2



c).Gambar 3.1 benda uji KLP₃



d).Gambar 3.4 benda uji KLP₆



KLP7

e).Gambar 3.5 benda uji KLP₇

Keterangan :

KLP₁ = Kolom dengan tulangan longitudinal dan tulangan transversal

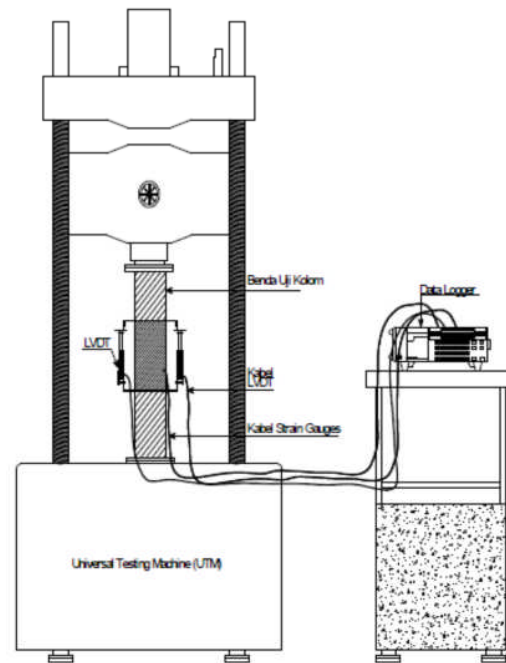
KLP₂ = Kolom dengan tulangan longitudinal 4D9,05mm dan tulangan transversal Ø4,7-150 mm

KLP₃ = Kolom berlubang 47,5 mm dengan tulangan longitudinal 4D9,05 mm ditambah tulangan longitudinal dalam lubang 6Ø5,6 mm dan tulangan transversal Ø4,7-150 mm

KLP₆ = Kolom berlubang 47,5 mm dengan tulangan longitudinal 4D9,05 mm ditambah tulangan longitudinal dalam lubang 6Ø5,6 mm dan tulangan transversal Ø4,7-150 mm di tambah dengan 6 buah lubang bervariasi dengan diameter (17 mm)

KLP₇ = Kolom berlubang 47,5 mm dengan tulangan longitudinal 4D9,05 mm ditambah tulangan longitudinal dalam lubang 6Ø5,6 mm dan tulangan transversal Ø4,7-150 mm di tambah dengan 8 buah lubang bervariasi dengan diameter 17 mm

3.4.3 Peralatan Pengujian Silinder dan Kolom



Gambar 3.6. Ilustrasi set-up pengujian kolom

3.4.4 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Langkah-langkah dalam membuat benda uji sampai pada pengujian adalah sebagai berikut :

1. Melakukan uji tarik baja tulangan ulir dan polos
2. Pemilihan campuran beton langsung dipilih dari Ready Mix
3. Melakukan penelitian analisa material yang dipilih langsung dari Ready Mix dengan kuat tekan rencana $f'_c = 9,64$ MPa.
4. Melakukan pekerjaan begisting kolom persegi ukuran 150 x 150 mm sebanyak 15 buah.
5. Membuat benda uji silinder sebanyak 10 buah dan benda uji kolom persegi sebanyak 15 buah yang terdiri dari 5 jenis benda uji kolom yang masing-masing 3 buah untuk kolom beton bertulang

6. Setelah 2 x 24 jam atau beton telah cukup kering, cetakan kolom dibuka.
7. Setelah cetakan dibuka, akan dilakukan perawatan beton dengan cara merendam benda uji silinder dan benda uji kolom persegi ke dalam terpal yang berisi air.
8. Setelah benda uji silinder berumur 28 hari, dilakukan pengangkatan benda uji ke tempat pengujian di laboratorium beton untuk dilakukan pengujian tekan.
9. Pengujian dilakukan dengan sistem *load control* dan *displacement control*.
10. Nilai regangan aksial kolom diperoleh dari harga rata-rata 2 buah *Dial* yang dibagi dengan tinggi pemasangan *kolom mula-mula* yaitu 260 mm.
11. Selama pembebanan dilakukan pengamatan, pemotretan dan pencatatan data.
12. Data yang akan dicatat adalah :
 - a. Pencatatan data pembebanan naik dan turun.
 - b. Lompatan beban dan besar beban pada saat kolom runtuh

3.5 Model Analisis

Model analisa yang akan dilakukan pada penelitian ini terdiri dari analisis teoritis dan analisis berdasarkan data eksperimen yang meliputi :

- a. Analisa kolom persegi yang terkekang dengan tulangan tanpa lubang
- b. Analisa kolom persegi yang terkekang dengan tulangan dan diberi lubang utama tanpa dililiti dengan tulangan
- c. Analisa kolom persegi yang terkekang dengan tulangan dan diberi lubang utama yang dililiti dengan tulangan.

- d. Analisa kolom persegi yang terkekang dengan tulangan dan diberi lubang utama yang dililiti dengan tulangan dan diberi lubang bervariasi yang berjumlah 6 buah dan 8 buah.
- e. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan kolom persegi yang terkekang dengan tulangan tanpa lubang
- f. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan kolom persegi yang terkekang dengan lubang yang diberi tulangan
- g. Pembuatan kurva hubungan tegangan-regangan kolom persegi yang terkekang dengan lubang yang diberi tulangan ditambah lubang yang bervariasi jumlahnya

3.6 Prediksi Analitis

Dari kepustakaan yang ada, telah saya lakukan analisis teoritis kurva hubungan tegangan regangan beton tidak terkekang dan beton terkekang. Dari beberapa model kurva tersebut, saya pilih yang paling cocok untuk dipakai sebagai hipotesa perilaku kolom berlubang adalah menggunakan usulan Hognestad untuk model hubungan tegangan-regangan beton tidak terkekang sedangkan untuk model hubungan tegangan-regangan beton terkekang menggunakan usulan Mander, dkk.(1988).

3.6.1. Analisa Teoritis Kekuatan Kolom Terhadap Beban Aksial

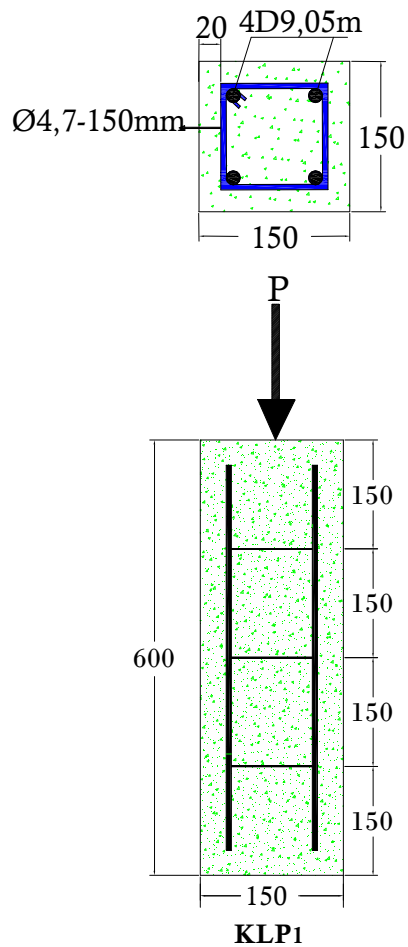
A. Kolom Terkekang Tak Berlubang (KLP₁)

Kolom persegi memiliki karakteristik sebagai berikut :

Dimensi Kolom	: 150 x 150 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	: 9.64 MPa
Diameter Tulangan Longitudinal (Ulir)	: 9,05 mm
Diameter Tulangan Sengkang (polos)	: 4,7 mm
f_y Tulangan Longitudinal (Ulir)	: 356,192 MPa
f_{yh} Tulangan Sengkang (Polos)	: 223,120 MPa
Jarak Tulangan Sengkang	: 150 mm
Regangan Beton Tidak Terkekang(ϵ'_c)	: 0,003
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	: 2×10^5 MPa
Tebal Selimut Beton	: 20 mm

Dari data diatas, maka kekuatan kolom betong bertulang dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

- a. Beban aksial kolom tanpa lubang dengan tulangan tepi 4D9,05 mm (KLP₁)



Gambar 3.7 Penampang Kolom Terkekang Tulangan BJTP Ø4,7 mm

Kolom KLP₁ adalah kolom beton yang terkekang tulangan transversal Ø4,7 – 150 tanpa lubang, yang mana kekuatan pada kolom KLP₁ ini akan di bandingkan dengan kekuatan kolom KLP₂ yang dibuat sama persis namun diberi lubang utama sebesar 47,5 mm .

1. Diameter kolom yang terkekang

$$h_c = h - (2 \times \text{selimut beton}) - \text{Ø sengkang}$$

$$h_c = 150 - (2 \times 20) - 4,7$$

$$= 105,3 \text{ mm}$$

$$h_c' = h - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$h_c' = 150 - (2 \times 20)$$

$$= 110 \text{ mm}$$

2. Tulangan transversal yang terpasang pada kolom KLP₁ adalah Ø4,7–150.

Rasio tulangan transversal yang terpasang adalah :

$$\rho_{sterpasang} = \frac{\text{Volume sengan}}{\text{Volume Beton}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d_{sk}^2 \times 4 \times h_c}{(h_c')^2 \cdot s}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 4,7_{sk}^2 \times 4 \times 105,3}{(110^2) \cdot s}$$

$$= \frac{7310,528}{1815000}$$

$$= 0,00403$$

$$\rho_x = \rho_y = 0,00403$$

$$f_{lx}' = f_{ly}' = 0,75 \times 0,00403 \times 223,120$$

$$= 0,674 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{lx}'}{f_c'} = \frac{f_{ly}'}{f_c'} = \frac{0,674}{9,64} = 0,0699$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f_c} \right) \dots\dots\dots (\text{pers. 2.22})$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0,00403 \times \left(\frac{223,120}{9,64} \right) = 1,191$$

$$K = \frac{f_{cc}'}{f_c'}$$

$$f_{cc}' = K \cdot f_c'$$

$$f_{cc}' = 1,191 \times 9,64 = 11,482 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f_c} - 1 \right) \right] \dots\dots\dots(\text{pers. 2.27})$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{11,482}{9,64} - 1 \right) \right] = 0.00391$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\varepsilon_{sm}}{f'_{cc}} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.28})$$

$$\rightarrow \rho_s = 0,00403$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,00403 \times 223,120 \times \frac{0,15}{11,482} = 0.02044$$

3. Luasan total tulangan longitudinal dan luasan penampang kolom

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } A_{st1} &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 9,05^2 \text{ mm}^2 \\ &= 257,41 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan bruto penampang melintang kolom

$$\begin{aligned} A_g &= b \cdot h \\ &= 105,3 \times 105,3 \\ &= 11088 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Beban maksimum yang bekerja pada kolom

$$\begin{aligned} P_{\max} &= f'_{cc} \cdot (A_g - A_{st1}) + A_{st1} \cdot f_y \dots\dots\dots(\text{pers. 2.19}) \\ &= 11,482 \cdot (11088 - 257,32) + (356,192 \cdot 257,32) \\ &= 21.605 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil analisis teoritis kolom terkekang dengan tulangan transversal tanpa lubang (KLP₁), dimana pada kolom satu (1) adalah nomor urut tegangan – regangan beton, pada kolom kedua (2) adalah regangan beton, kolom ke tiga (3) adalah perbandingan regangan beton terkekang dengan regangan beton tidak terkekang, dan kolom ke empat (4) adalah kuat tekan beton yang terkekang.

Tabel 3.2 Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal BJTPØ4,7 (KLP₁) menurut Mander, dkk.

No	ϵ'_{cc}	X	f'_{cc} (MPa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00039	0.10000	4.932
3	0.00078	0.20000	7.713
4	0.00117	0.30000	9.291
5	0.00156	0.40000	10.216
6	0.00196	0.50000	10.771
7	0.00235	0.60000	11.105
8	0.00274	0.70000	11.303
9	0.00313	0.80000	11.414
10	0.00352	0.90000	11.468
11	0.00391	1.00000	11.482
12	0.00556	1.42251	11.336
13	0.00722	1.84503	11.076
14	0.00887	2.26754	10.804
15	0.01052	2.69006	10.548
16	0.01217	3.11257	10.312
17	0.01383	3.53509	10.097
18	0.01548	3.95760	9.901
19	0.01713	4.38012	9.723
20	0.01878	4.80263	9.559
21	0.02044	5.22515	9.408

Keterangan pengisian kolom pada tabel 3.2 :

Kolom 1 = Nomor Urut

Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio Perbandingan Regangan Beton

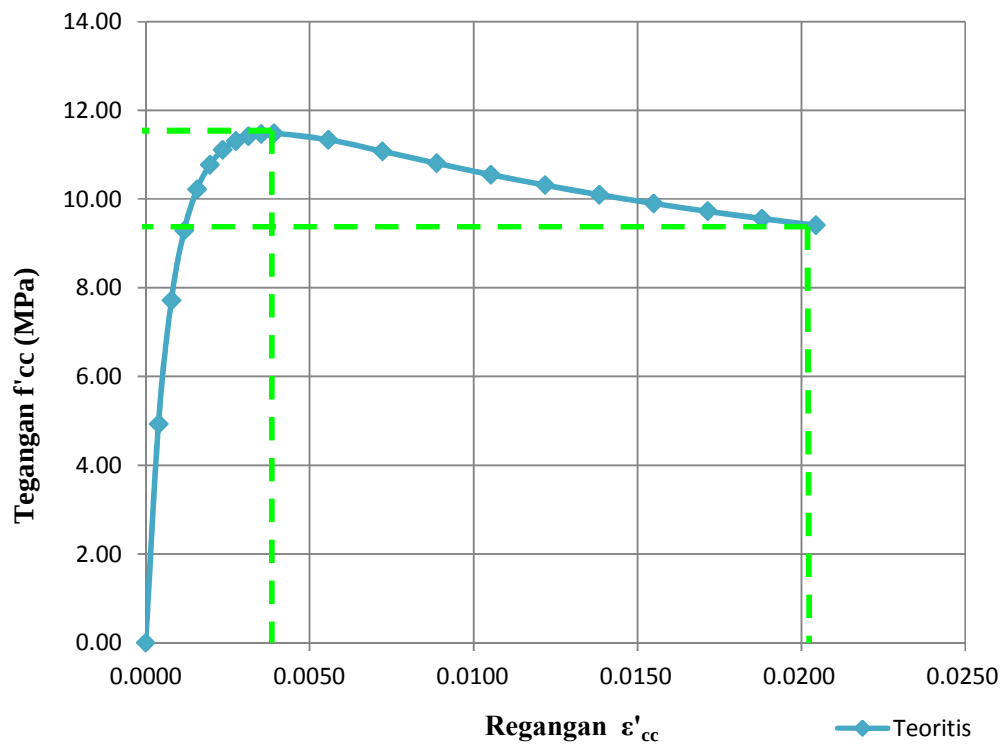
Kolom 4 = Kuat Tekan Beton

Baris 1-11 = Regangan Kurva Naik

Baris 12-21 = Kurva Turun

Berdasarkan hasil teoritis kolom terkekang KLP₁ tanpa lubang seperti pada tabel 3.2 di atas dapat pula digambarkan seperti pada grafik 3.1 dibawah ini,

dimana tegangan kolom terkekang dengan regangan kolom terkekang dihubungkan dengan angka-angka pada kolom kedua arah horizontal (regangan) ankolom ke empat pada arah vertikal (tegangan).



Grafik 3.1. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom KLP₁

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.1.

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Regangan beton naik (no urut 1 s/d 11)

$$\epsilon_c = \frac{0,002}{10}$$

Regangan beton turun (no urut 11 s/d 21)

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0,002 \cdot f'_c}{f'_c - 1000} \dots\dots\dots (\text{pers.2.25})$$

➤ Kolom 3

Rasio perbandingan regangan beton terhadap regangan saat tegangan mencapai maksimum

$$\chi = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \dots\dots\dots (\text{pers.2.24})$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002[1 + 5(f'_{cc} / f'_c - 1)] \dots\dots\dots (\text{pers.2.27})$$

➤ Kolom 4

Kuat tekan beton kolom

$$f'_c = \frac{f'_{cc} \times \chi \times r}{r - 1 + \chi^r} \dots\dots\dots (\text{pers.2.23})$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{scc}} \dots\dots\dots (\text{pers.2.25})$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \dots\dots\dots (\text{pers.2.26})$$

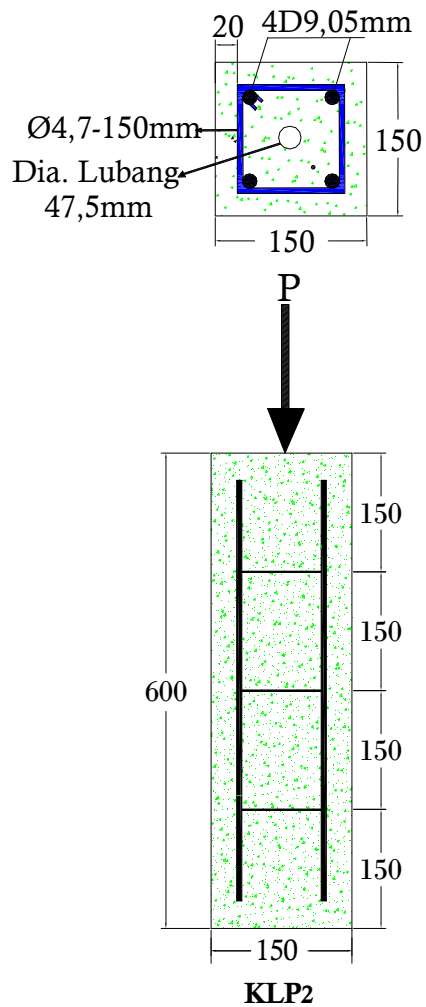
$$f'_{cc} = K * f'_c$$

B. Kolom Terkekang dengan lubang utama 47,5 mm (KLP₂)

Kolom persegi memiliki karakteristik sebagai berikut :

Dimensi Kolom	: 150 x 150 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	: 9,64 MPa
Diameter Tulangan Longitudinal (Ulir)	: 9,05 mm
Diameter Tulangan Sengkang	: 4,7 mm
f_y Tulangan Longitudinal (Ulir)	: 356,192 MPa
f_{yh} Tulangan Sengkang dan Spiral (Polos)	: 223,120 MPa
Jarak Tulangan Sengkang	: 150 mm
Regangan Beton Tidak Terkekang	: 0,003
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	: 2×10^5 MPa
Tebal Selimut Beton	: 20 mm

a. Beban axial kolom berlubang dengan tulangan tepi 4D9,05 mm (KLP₂)



1. Diameter kolom yang terkekang

$$h_c = h - (2 \times \text{selimut beton}) - \emptyset \text{ sengkang}$$

$$h_c = 150 - (2 \times 20) - 4,7$$

$$= 105,3 \text{ mm}$$

$$h'_c = h - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$h'_c = 150 - (2 \times 20) = 110 \text{ mm}$$

2. Tulangan transversal yang terpasang pada kolom KLP₂ adalah Ø4,7–150

$$\begin{aligned}\rho_{sterpasang} &= \frac{\text{Volume Sengkan}}{\text{Volume Beton}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d_{sk}^2 \times 4 \times hc - \text{Alu}}{(hc^2) \cdot s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 4,7^2 \times 4 \times 105,3 - 1772,768}{(110^2) \times 150} \\ &= \frac{5537,76}{1815000}\end{aligned}$$

$$= 0.003051$$

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \quad \dots\dots\dots(\text{pers. 2.20})$$

$$f'_{ly} = K_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \quad \dots\dots\dots(\text{pers. 2.21})$$

$$K_e = 0,75$$

$$\begin{aligned}f'_{lx} = f'_{ly} &= 0,75 \times 0.003051 \times 223,120 \\ &= 0,511 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{0,511}{9,64} = 0,053$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f'_c} \right) \quad \dots\dots\dots(\text{pers. 2.22})$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0.003051 \times \left(\frac{223,120}{9,64} \right) = 1.145$$

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c}$$

$$f'_{cc} = K \cdot f'_c$$

$$f'_{cc} = 1.145 \times 9,64 = 11.036 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \quad \dots\dots\dots(\text{pers. 2.27})$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{11.036}{9.64} - 1 \right) \right] = 0.0035$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\varepsilon_{sm}}{f'_{cc}} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.28})$$

$$\rightarrow \rho_s = 0.003051$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0.003051 \times 223,120 \times \frac{0,15}{11.036} = 0.0695$$

3. Luasan total tulangan longitudinal dan luasan penampang kolom

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } A_{st1} &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 9,05^2 \text{ mm}^2 \\ &= 257,41 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan bruto penampang melintang kolom

$$\begin{aligned} A_g &= b \cdot h \\ &= 105,3 \times 105,3 \\ &= 11088 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{glu} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{lu}^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 47,5^2 \\ &= 1772,768 \end{aligned}$$

4. Beban Aksial nominal yang bekerja pada kolom

$$\begin{aligned} P_{\max} &= f'_{cc} \cdot (A_g - A_{st1} - A_{glu1}) + A_{st1} \cdot f_y \dots\dots\dots(\text{pers. 2.19}) \\ &= 11.036 \cdot (11088 - 257,41 - 1772,768) + (356,192 \cdot 257,41) \\ &= 19,16 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil analisis teoritis kolom terkekang tulangan transversal dengan lubang utama di tengah-tengah (KLP₂) dimana pada tabel 3.3 kolom satu (1) adalah nomor urut tegangan – regangan beton, pada kolom kedua (2) adalah regangan beton, kolom ke tiga (3) adalah perbandingan regangan

beton terkekang dengan regangan beton tidak terkekang, dan kolom ke empat (4) adalah kuat tekan beton yang terkekang.

Tabel 3.3 Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal

BJTPØ4,7 (KLP₂) menurut Mander, dkk

No	ε'_{cc}	X	f'_{cc} (MPa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00034	0.10000	4.434
3	0.00069	0.20000	7.120
4	0.00103	0.30000	8.716
5	0.00138	0.40000	9.679
6	0.00172	0.50000	10.267
7	0.00207	0.60000	10.626
8	0.00241	0.70000	10.840
9	0.00276	0.80000	10.961
10	0.00310	0.90000	11.019
11	0.00345	1.00000	11.036
12	0.00480	1.39177	10.894
13	0.00645	1.87107	10.571
14	0.00810	2.35038	10.235
15	0.00976	2.82969	9.924
16	0.01141	3.30900	9.644
17	0.01306	3.78831	9.393
18	0.01471	4.26762	9.167
19	0.01637	4.74693	8.964
20	0.01802	5.22624	8.779
21	0.01967	5.70555	8.611

Keterangan pengisian kolom pada tabel 3.2 :

Kolom 1 = Nomor Urut

Kolom 2 = Regangan Beton

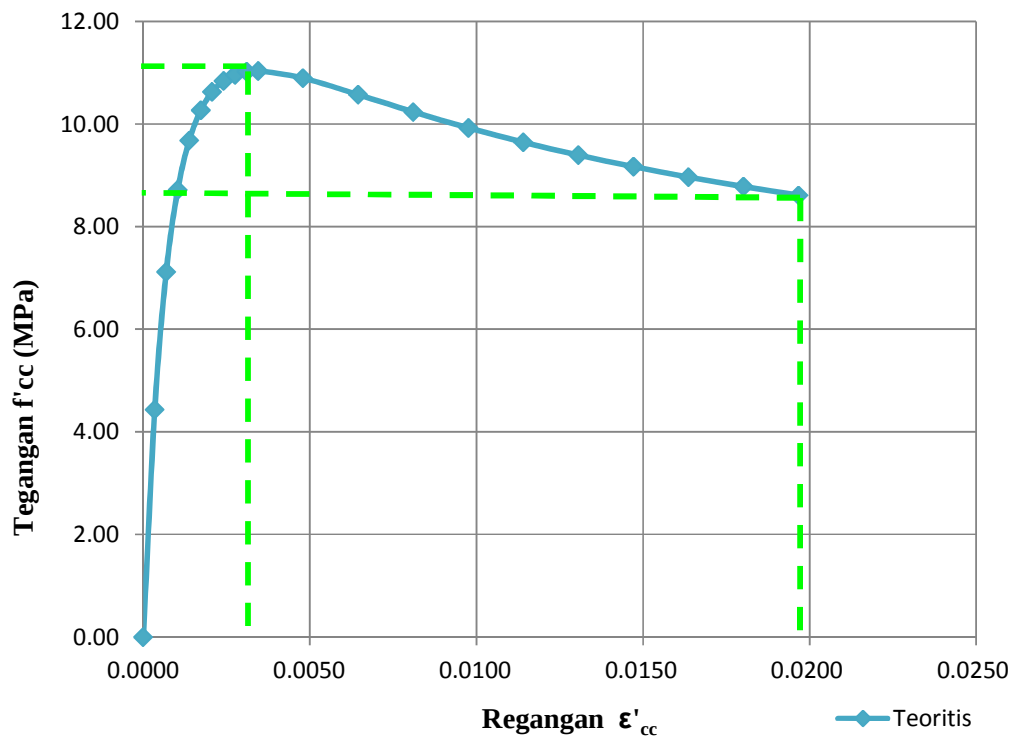
Kolom 3 = Rasio Perbandingan Regangan Beton

Kolom 4 = Kuat Tekan Beton

Baris 1-11 = Regangan Kurva Naik

Baris 12-21 = Kurva Turun

Berdasarkan hasil teoritis kolom terkekang KLP₂ dengan penempatan lubang di tengah-tengah kolom seperti pada tabel 3.3 di atas, dapat pula digambarkan seperti pada grafik 3.2 dibawah ini, dimana tegangan kolom terkekang dengan regangan kolom terkekang dihubungkan dengan angka-angka pada kolom kedua (2) arah horizontal (regangan) dan kolom ke empat (4) pada arah vertikal (tegangan).



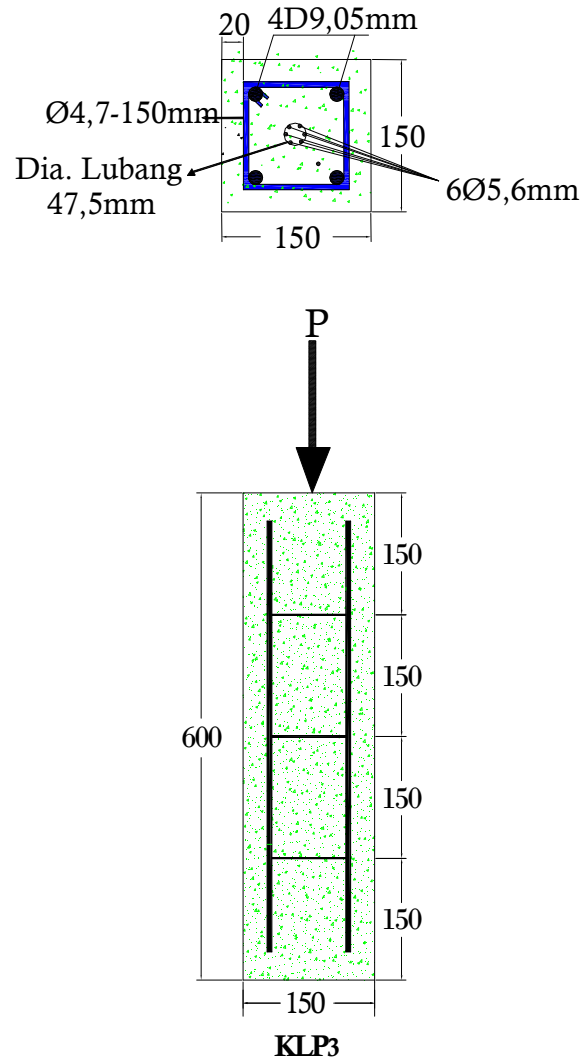
Grafik 3.2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom KLP₂

C. Kolom Terkekang dengan tulangan dan berlubang utama sebesar 47,5 mm yang dililiti dengan tulangan (KLP₃)

Kolom persegi berlubang memiliki karakteristik sebagai berikut :

Dimensi Kolom	: 150 x 150 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	: 9.64 MPa
Diameter Tulangan Longitudinal Tepi (Ulir)	: 9,05 mm
Diameter Tulangan Longitudinal Dalam (Polos)	: 5,6 mm
Diameter Tulangan Sengkang	: 4,7 mm
f_y Tulangan Longitudinal (Ulir)	: 356,192 MPa
f_y Tulangan Longitudinal (Polos)	: 342,979 MPa
f_{yh} Tulangan Sengkang dan Spiral (Polos)	: 223,120 MPa
Jarak Tulangan Sengkang	: 150 mm
Regangan Beton Tidak Terkekang	: 0,003
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	: 2×10^5 MPa
Tebal Selimut Beton	: 20 mm

- b. Beban axial kolom berlubang dengan tulangan longitudinal $6\phi 5,6$ mm dan tulangan tepi $4D9,05$ mm (KLP_3)



Kolom KLP_3 adalah kolom beton yang terkekang tulangan transversal $\phi 4,7 - 150$ dengan lubang utama sebesar 47,5 mm dan diberi 6 buah tulangan longitudinal yang dililiti dengan tulangan sengkang berdiameter sama yaitu $\phi 4,7$ mm disekitar lubang utama tersebut, yang mana kekuatan pada kolom KLP_3 ini akan di bandingkan dengan kekuatan kolom KLP_6 dan KLP_7 yang dibuat sama persis namun diberi tambahan variasi lubang yang masing-masing 6buah untuk kolom KLP_6 dan 8 buah variasi lubang untuk KLP_7 .

1. Diameter kolom yang terkekang

$$h_c = h - (2 \times \text{selimut beton}) - \emptyset \text{ sengkang}$$

$$h_c = 150 - (2 \times 20) - 4,7$$

$$= 105,3 \text{ mm}$$

$$h_c' = h - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$h_c' = 150 - (2 \times 20)$$

$$= 110 \text{ mm}$$

2. Tulangan transversal yang terpasang pada kolom KLP₃ adalah

$$\emptyset 4,7-150$$

$$\begin{aligned} \rho_{sterpasang} &= \frac{\text{Volume Sengkang}}{(\text{Volume Beton})} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 4,7^2 \times 4 \times 105,3) + \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 4,7^2\right) \times 248,8095 - 129,3476}{(110^2 - \frac{1}{4} \times \pi \times 47,5^2) \times 150} \\ &= \frac{11499,62}{1815000} \\ &= 0,00634 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.20})$$

$$f'_{ly} = K_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.21})$$

$$K_e = 0,75$$

$$\begin{aligned} f'_{lx} = f'_{ly} &= 0,75 \times 0,00634 \times 223,120 \\ &= 1,061 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{1,061}{9,64} = 0,110$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f_c} \right) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.22})$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0,00634 \times \left(\frac{223,120}{9,64} \right) = 1,301$$

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c}$$

$$f'_{cc} = K \cdot f'_c$$

$$f'_{cc} = 1,301 \times 9,64 = 12,538 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \dots\dots\dots (\text{pers. 2.27})$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{12,538}{9,64} - 1 \right) \right] = 0,00501$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\varepsilon_{sm}}{f'_{cc}} \dots\dots\dots (\text{pers. 2.28})$$

$$\rightarrow \rho_s = 0,00634$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,00634 \times 223,120 \times \frac{0,15}{12,538} = 0,0277$$

3. Luasan total tulangan longitudinal dan luasan penampang kolom

$$\text{Diketahui } Ast_1 = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 9,05^2 \text{ mm}^2$$

$$= 257,41 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diketahui } Ast_2 = 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 5,6^2 \text{ mm}^2$$

$$= 147,78 \text{ mm}^2$$

Luasan bruto penampang melintang kolom

$$A_g = b \cdot h$$

$$= 105,3 \times 105,3$$

$$= 11088 \text{ mm}^2$$

$$A_{lu} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$A_{lu} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 47,5^2$$

$$= 1772,768 \text{ mm}^2$$

4. Beban Aksial nominal yang bekerja pada kolom

$$\begin{aligned} P_{\max} &= f'_{cc} \cdot (A_g - A_{st1} - A_{st2} - A_{lu}) + A_{st1} \cdot f_y + A_{st2} \cdot f_y \dots\dots\dots (\text{pers. 2.19}) \\ &= 12.538 \cdot (11088 - 257,41 - 147,78 - 1772,768) + (356,192 \cdot 257,41) + (342,979 \cdot 147,84) \\ &= 25,411 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil analisis teoritis kolom terkekang tulangan transversal dengan lubang utama di tengah-tengah kolom dimana kolom KLP₃ dibuat sama persis dengan KLP₂, namun lubang utama tersebut diberi 6 buah tulangan longitudinal yang dililiti tulangan sengkang dengan diameter Ø4,7 mm. Dimana pada tabel 3.4 kolom satu (1) adalah nomor urut tegangan–regangan beton, pada kolom kedua (2) adalah regangan beton, kolom ke tiga (3) adalah perbandingan regangan beton terkekang dengan regangan beton tidak terkekang, dan kolom ke empat (4) adalah kuat tekan beton yang terkekang.

Tabel 3.4 Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal BJTPØ4,7 (KLP₃) menurut Mander, dkk

No	ε_{cc}	X	f'_{cc} (MPa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00050	0.10000	6.057
3	0.00100	0.20000	9.012
4	0.00150	0.30000	10.554
5	0.00200	0.40000	11.414
6	0.00250	0.50000	11.915
7	0.00300	0.60000	12.210
8	0.00350	0.70000	12.383
9	0.00400	0.80000	12.479
10	0.00451	0.90000	12.525
11	0.00501	1.00000	12.538
12	0.00666	1.33009	12.455
13	0.00831	1.66018	12.292
14	0.00996	1.99027	12.111
15	0.01162	2.32036	11.930
16	0.01327	2.65045	11.757
17	0.01492	2.98054	11.595
18	0.01657	3.31063	11.443
19	0.01823	3.64072	11.302
20	0.01988	3.97081	11.170
21	0.02153	4.30089	11.047

Keterangan pengisian kolom pada tabel 3.4:

Kolom 1 = Nomor Urut

Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio Perbandingan Regangan Beton

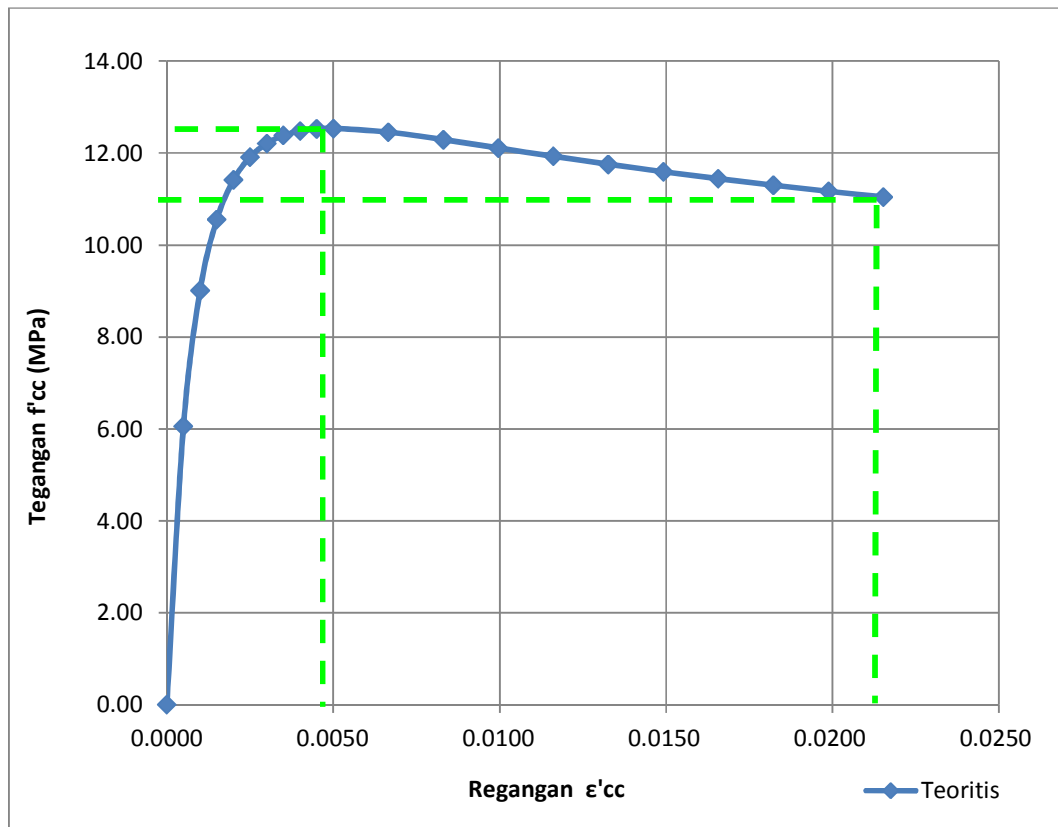
Kolom 4 = Kuat Tekan Beton

Baris 1-11 = Regangan Kurva Naik

Baris 12-21 = Regangan Kurva Turun

Berdasarkan hasil teoritis kolom terkekang KLP₃ dengan lubang utama di tengah-tengah kolom yang diberi 6 buah tulangan longitudinal dan dililiti tulangan sengkang dengan diameter Ø4,7 mm seperti pada tabel 3.4 di atas, dapat pula

digambarkan seperti pada grafik 3.3 dibawah ini, dimana tegangan kolom terkekang dengan regangan kolom terkekang dihubungkan dengan angka-angka pada kolom kedua arah horizontal (regangan) dan kolom ke empat pada arah vertikal (tegangan).



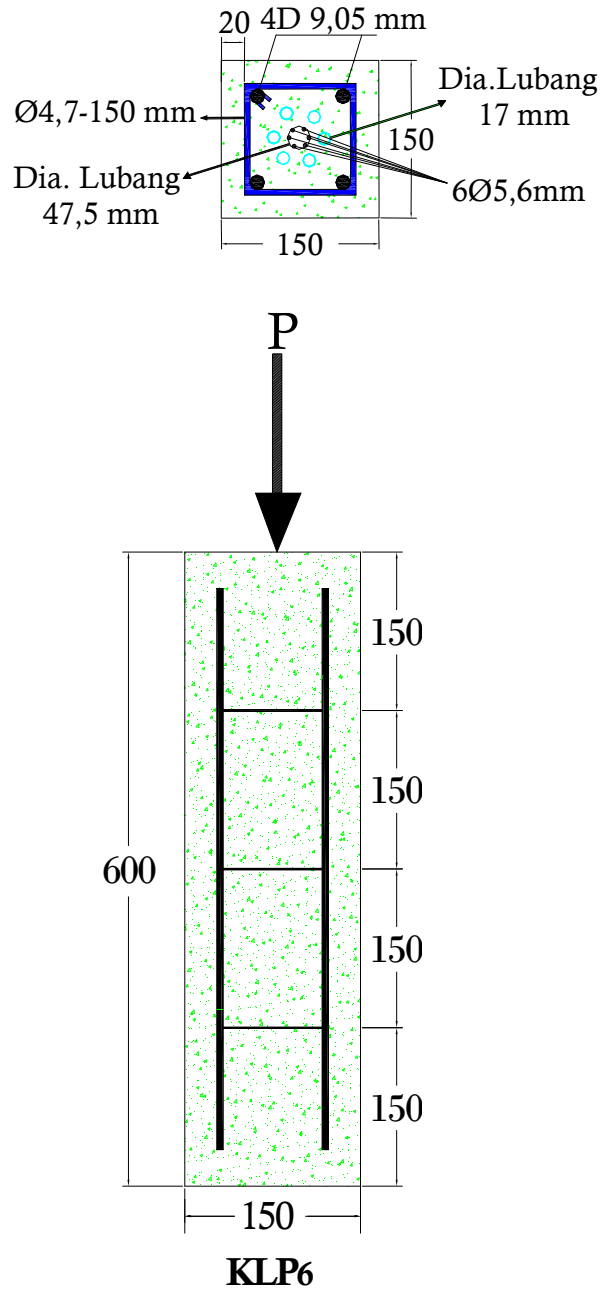
Grafik 3.3. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom KLP₃

D. Kolom Terkekang dengan lubang utama sebesar 47,5 mm dan 6 buah lubang yang bervariasi sebesar 17 mm (KLP₆)

Kolom persegi berlubang memiliki karakteristik sebagai berikut :

Dimensi Kolom	: 150 x 150 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	: 9,64 MPa
Diameter Tulangan Longitudinal Tepi (Ulir)	: 9,05 mm
Diameter Tulangan Longitudinal Dalam (Polos)	: 5,6 mm
Diameter Tulangan Sengkang	: 4,7 mm
f_y Tulangan Longitudinal (Ulir)	: 356,192 MPa
f_y Tulangan Longitudinal (Polos)	: 342,979 MPa
f_{yh} Tulangan Sengkang dan Spiral (Polos)	: 223,120 MPa
Jarak Tulangan Sengkang	: 150 mm
Regangan Beton Tidak Terkekang	: 0,003
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	: 2×10^5 MPa
Tebal Selimut Beton	: 20 mm

- c. Beban axial kolom berlubang dengan tulangan longitudinal 6D5,6 mm dan tulangan tepi 4D9,05 mm di tambah 6 buah lubang bervariasi (KLP₆)



1. Diameter kolom yang terkekang

$$h_c = h - (2 \times \text{selimut beton}) - \varnothing \text{ sengkang}$$

$$h_c = 150 - (2 \times 20) - 4,7$$

$$= 105,3 \text{ mm}$$

$$h_c' = h - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$h_c' = 150 - (2 \times 20)$$

$$= 110 \text{ mm}$$

2. Tulangan transversal yang terpasang pada kolom KLP₆ adalah Ø4,7-140

$$\rho_{sterpasang} = \frac{\text{Volume Senggang}}{\text{Volume Beton}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 4,7^2 \times 4 \times 105,3 + \frac{1}{4} \times 248,8095 - 129,3476 - 99,4077}{110 \times 110 \times 150}$$

$$= \frac{11400,22}{1815000}$$

$$= 0,00628$$

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.20})$$

$$f'_{ly} = K_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.21})$$

$$K_e = 0,75$$

$$f'_{lx} = f'_{ly} = 0,75 \times 0,00628 \times 223,120$$

$$= 1,051 \text{ MPa}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{1,051}{9,64} = 0,109$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f'_c} \right) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.22})$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0,00628 \times \left(\frac{223,120}{9,64} \right) = 1,298$$

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c}$$

$$f'_{cc} = K \cdot f'_c$$

$$f'_{cc} = 1,298 \cdot 9,64 = 12,513 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \dots\dots\dots(\text{pers. 2.27})$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{12,513}{9.64} - 1 \right) \right] = 0.00498$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\varepsilon_{sm}}{f'_{cc}} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.28})$$

$$\rightarrow \rho_s = 0,00628$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,00628 \times 223,120 \times \frac{0,15}{12,513} = 0.0275$$

3. Luasan total tulangan longitudinal dan luasan penampang kolom

$$\text{Diketahui } Ast_1 = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 9,05^2 \text{ mm}^2$$

$$= 257,41 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diketahui } Ast_2 = 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 5,6^2 \text{ mm}^2$$

$$= 147,78 \text{ mm}^2$$

Luasan bruto penampang melintang kolom

$$Ag = b.h$$

$$= 105,3 \times 105,3$$

$$= 11088 \text{ mm}^2$$

$$A_{lu} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$A_{lu} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 47,5^2$$

$$= 1772,768 \text{ mm}^2$$

$$A_{luv} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$A_{luv} = 6 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 17^2$$

$$= 1362,429 \text{ mm}^2$$

4. Beban Aksial nominal yang bekerja pada kolom

$$\begin{aligned} P_{\max} &= f'_{cc} \cdot (A_g - A_{st1} - A_{st2} - A_{lu} - A_{luv}) + A_{st1} \cdot f_y + A_{st2} \cdot f_y \dots\dots\dots (\text{pers. 2.19}) \\ &= 12.513 \cdot (11088 - 257,41 - 147,78 - 1772,768 - 1362,429) + \\ &\quad (356,192 \cdot 257,41) + (342,979 \cdot 147,84) \} \\ &= 23,634 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil analisis teoritis kolom terkekang tulangan transversal dengan penempatan lubang utama di tengah-tengah kolom yang diberi 6 buah tulangan longitudinal dan dililiti dengan tulangan sengkang namun di sekitar lubang utama masih di tempatkan 6 buah lubang yang bervariasi (KLP₆). Dimana pada tabel 3.5 kolom satu (1) adalah nomor urut tegangan – regangan beton, pada kolom kedua (2) adalah regangan beton, kolom ke tiga (3) adalah perbandingan regangan beton terkekang dengan regangan beton tidak terkekang, dan kolom ke empat (4) adalah kuat tekan beton yang terkekang.

Tabel 3.5 Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal

BJTPØ4,7 (KLP₆) menurut Mander, dkk

No	ε'_{cc}	X	f'_{cc} (MPa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00050	0.10000	6.031
3	0.00100	0.20000	8.983
4	0.00149	0.30000	10.525
5	0.00199	0.40000	11.387
6	0.00249	0.50000	11.888
7	0.00299	0.60000	12.184
8	0.00349	0.70000	12.358
9	0.00398	0.80000	12.454
10	0.00448	0.90000	12.500
11	0.00498	1.00000	12.513
12	0.00663	1.33181	12.429
13	0.00829	1.66362	12.265
14	0.00994	1.99544	12.082
15	0.01159	2.32725	11.899
16	0.01324	2.65906	11.726
17	0.01490	2.99087	11.562
18	0.01655	3.32268	11.410
19	0.01820	3.65450	11.268
20	0.01985	3.98631	11.135
21	0.02151	4.31812	11.011

Keterangan pengisian kolom pada tabel 3.5 :

Kolom 1 = Nomor Urut

Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio Perbandingan Regangan Beton

Kolom 4 = Kuat Tekan Beton

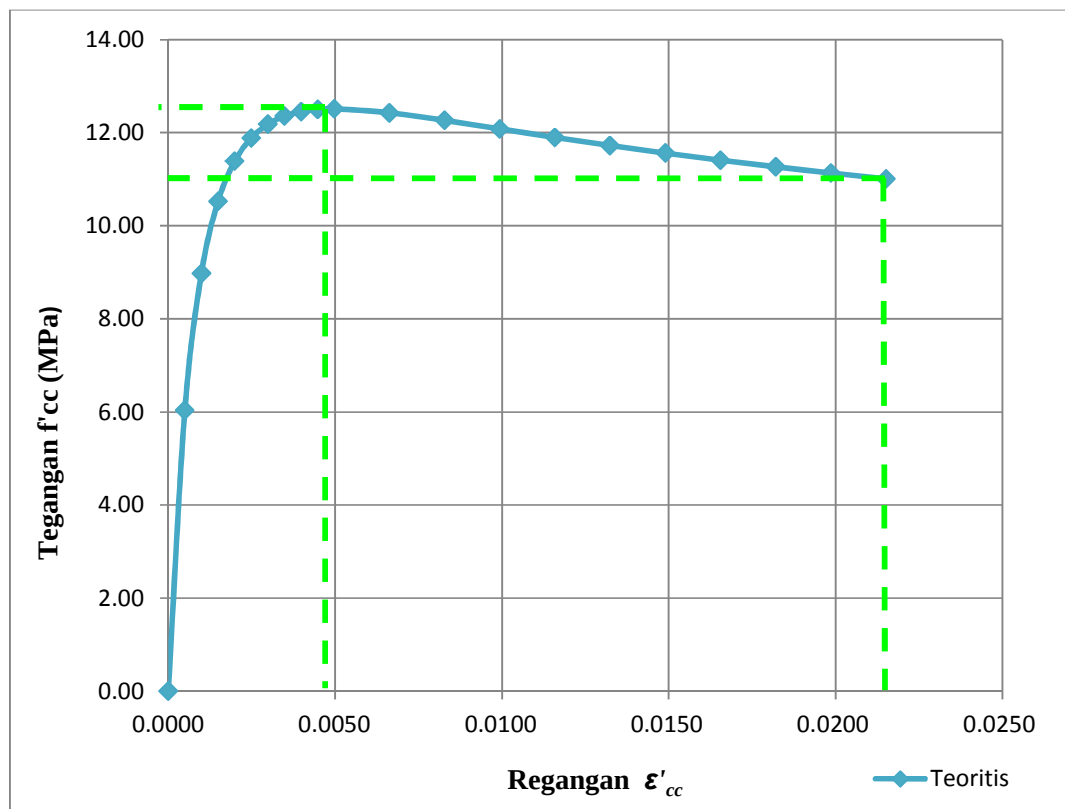
Baris 1-11 = Regangan Kurva Naik

Baris 12-21 = Kurva Turun

Berdasarkan hasil teoritis kolom terkekang KLP₆ dengan penempatan lubang utama ditempatkan di tengah-tengah kolom yang diberi 6 buah tulangan longitudinal dililiti tulangan sengkang dengan diameter Ø4,7 mm serta disekitar lubang utama ini

masih diberi penambahan 6 buah lubang bervariasi dengan tiap lubang berdiameter Ø4,7 mm.

Hasil KLP₆ seperti pada tabel 3.5 di atas dapat pula digambarkan seperti pada grafik 3.4 dibawah ini, dimana tegangan kolom terkekang dengan regangan kolom terkekang dihubungkan dengan angka-angka pada kolom kedua (2) arah horizontal (regangan) dan kolom ke empat (4) arah vertikal



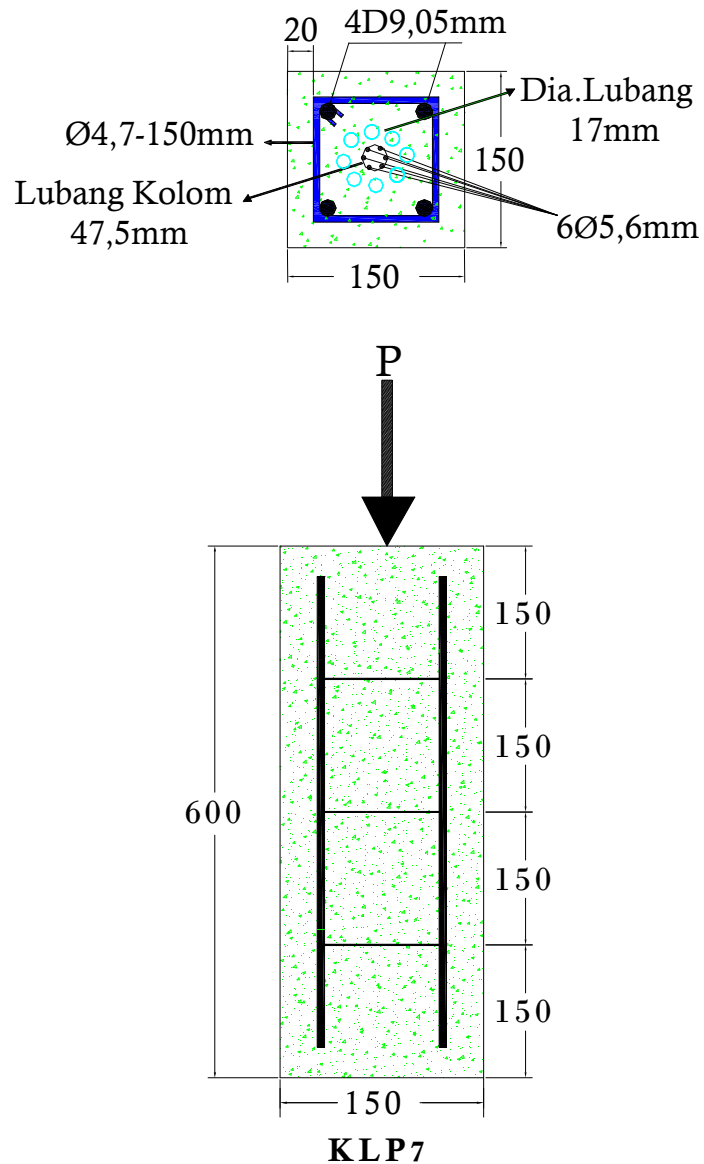
Grafik 3.4. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom KLP₆

E. Kolom Terkekang dengan lubang utama sebesar 47,5 mm dan 8 buah lubang bervariasi sebesar 17 mm (KLP₇)

Kolom persegi berlubang memiliki karakteristik sebagai berikut :

Dimensi Kolom	: 150 x 150 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	: 9.64 MPa
Diameter Tulangan Longitudinal Tepi (Ulir)	: 9,05 mm
Diameter Tulangan Longitudinal Dalam (Polos)	: 5,6 mm
Diameter Tulangan Sengkang	: 4,7 mm
f_y Tulangan Longitudinal (Ulir)	: 356,192 MPa
f_y Tulangan Longitudinal (Polos)	: 342,979 MPa
f_{yh} Tulangan Sengkang dan Spiral (Polos)	: 223,120 MPa
Jarak Tulangan Sengkang	: 150 mm
Regangan Beton Tidak Terkekang	: 0,003
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	: 2×10^2 MPa
Tebal Selimut Beton	: 20 mm

- d. Beban axial kolom berlubang dengan tulangan longitudinal 6D5,6 mm dan tulangan tepi 4D9,05 mm di tambah 8 buah lubang bervariasi (KLP₇)



1. Diameter kolom yang terkekang

$$h_c = h - (2 \times \text{selimut beton}) - \varnothing \text{ sengkang}$$

$$h_c = 150 - (2 \times 20) - 4,7 = 105,3 \text{ mm}$$

$$h'_c = h - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$h'_c = 150 - (2 \times 20)$$

$$= 110 \text{ mm}$$

2. Tulangan transversal yang terpasang pada kolom KLP₇ adalah Ø4,7–150

$$\rho_{sterpasang} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d_{sk}^2 \times 4 \times hc + \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 - Alu - Aluv}{(hc'^2) \cdot s}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 4,7^2 \times 4 \times 105,3 + \frac{1}{4} \times \pi \times 248,8095^2 - 129,3476 - 132,5436}{110 \times 110 \times 150}$$

$$= \frac{11367,08}{1815000}$$

$$= 0.00626$$

$$f'_{lx} = K_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.20})$$

$$f'_{ly} = K_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.21})$$

$$K_e = 0,75$$

$$f'_{lx} = f'_{ly} = 0,75 \times 0.00626 \times 223,120$$

$$= 1,048 \text{ MPa}$$

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{1,048}{9.64} = 0,109$$

$$K = 1 + 2,05 \rho_s \left(\frac{f_{yh}}{f'_c} \right) \dots\dots\dots(\text{pers. 2.22})$$

$$K = 1 + 2,05 \times 0.00626 \times \left(\frac{223,120}{9.64} \right) = 1.297$$

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c}$$

$$f'_{cc} = K \cdot f'_c$$

$$f'_{cc} = 1,297 \times 9.64 = 12,505$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \dots\dots\dots(\text{pers. 2.27})$$

$$\varepsilon'_{cc} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{12,505}{9.64} - 1 \right) \right] = 0.00497$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \cdot \rho_s \cdot f_{yh} \cdot \frac{\varepsilon_{sm}}{f_{cc}} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.28})$$

$$\rightarrow \rho_s = 0,00626$$

$$\varepsilon'_{cu} = 0,004 + 1,4 \times 0,00626 \times 223,120 \times \frac{0,15}{12,505} = 0,0275$$

3. Luasan total tulangan longitudinal dan luasan penampang kolom

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } A_{st1} &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 9,05^2 \text{ mm}^2 \\ &= 257,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } A_{st2} &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 5,6^2 \\ &= 147,78 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan bruto penampang melintang kolom

$$\begin{aligned} A_g &= b \cdot h \\ &= 105,3 \times 105,3 \\ &= 11088 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{lu} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ -A_{lu} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 47,5^2 \\ &= 1772,768 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{luv} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ A_{luv} &= 8 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 17^2 \\ &= 1816,571 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Beban Aksial nominal yang bekerja pada kolom

$$\begin{aligned} P_{\max} &= f'_{cc} \cdot (A_g - A_{st1} - A_{st2} - A_{lu} - A_{luv}) + A_{st1} \cdot f_y + A_{st2} \cdot f_y \dots\dots\dots(\text{pers. 2.19}) \\ &= 12,505 \cdot (11088 - 257,41 - 147,78 - 1772,768 - 1816,571) + \\ &\quad (356,192 \cdot 257,32) + (342,979 \cdot 147,84) \} \\ &= 23,1094 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil analisis teoritis kolom terkekang tulangan transversal dengan penempatan lubang utama di tengah-tengah kolom yang diberi 6 buah tulangan longitudinal dan dililiti tulangan sengkang dengan diameter Ø4,7 mm, serta disekitar lubang utama masih diberi penambahan 8 buah lubang yang bervariasi dengan tiap lubang berdiameter 17 mm (KLP₇). Dimana kolom satu (1) pada tabel 3.6 adalah nomor urut tegangan – regangan beton, pada kolom kedua (2) adalah regangan beton, kolom ke tiga (3) adalah perbandingan regangan beton terkekang dengan regangan beton tidak terkekang, dan kolom ke empat (4) adalah kuat tekan beton yang terkekang

Tabel 3.6 Tegangan Regangan Kolom Beton Terkekang Tulangan Transversal

BJTPØ4,7 (KLP₇) menurut Mander, dkk

No	ϵ'_{cc}	X	f'_{cc} (MPa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00050	0.10000	6.023
3	0.00099	0.20000	8.973
4	0.00149	0.30000	10.516
5	0.00199	0.40000	11.377
6	0.00249	0.50000	11.879
7	0.00298	0.60000	12.176
8	0.00348	0.70000	12.349
9	0.00398	0.80000	12.446
10	0.00447	0.90000	12.492
11	0.00497	1.00000	12.505
12	0.00662	1.33239	12.420
13	0.00828	1.66478	12.256
14	0.00993	1.99717	12.072
15	0.01158	2.32956	11.889
16	0.01323	2.66195	11.715
17	0.01489	2.99434	11.551
18	0.01654	3.32673	11.399
19	0.01819	3.65912	11.256
20	0.01984	3.99151	11.123
21	0.02150	4.32390	10.999

Keterangan Pengisian kolom pada table 3.6 :

Kolom 1 = Nomor Urut

Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio Perbandingan Regangan Beton

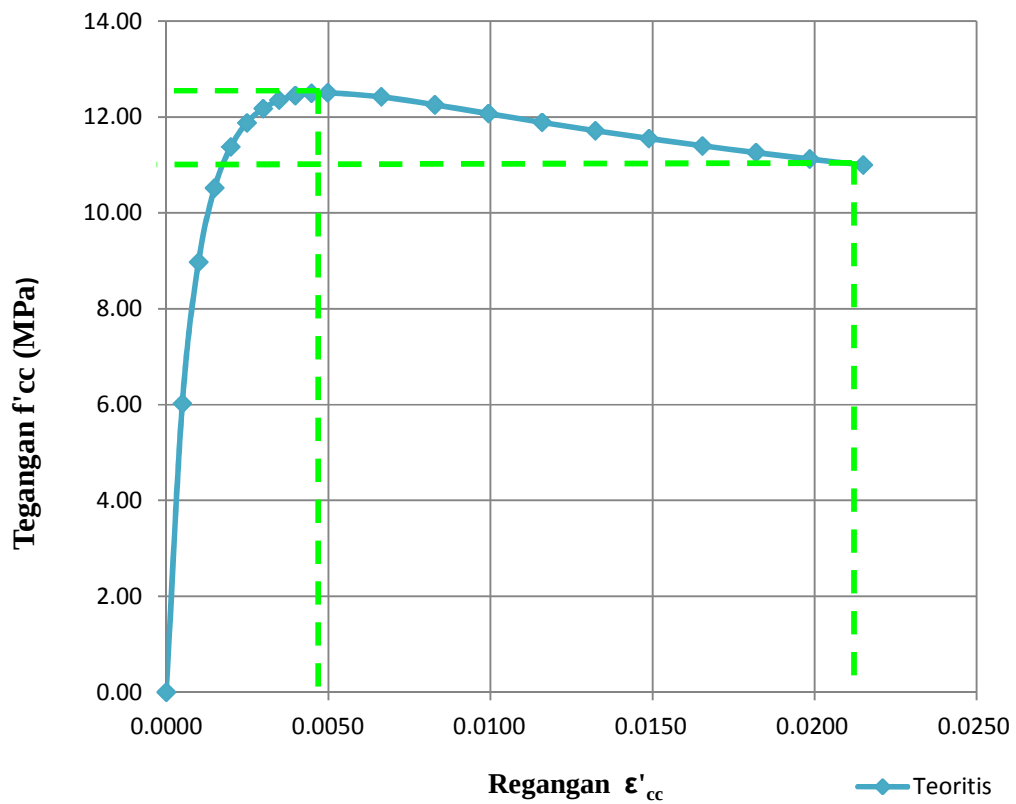
Kolom 4 = Kuat Tekan Beton

Baris 1-11 = Regangan Kurva Naik

Baris 12-21 = Kurva Turun

Berdasarkan hasil teoritis kolom terkekang KLP₇ dengan penempatan lubang utama ditempatkan di tengah-tengah kolom yang diberi 6 buah tulangan longitudinal dililiti dengan diameter tulangan sengkang Ø4,7 mm dan disekitar lubang utama ini masih diberi penambahan 8 buah lubang yang bervariasi dengan diameter tiap lubang 17 mm.

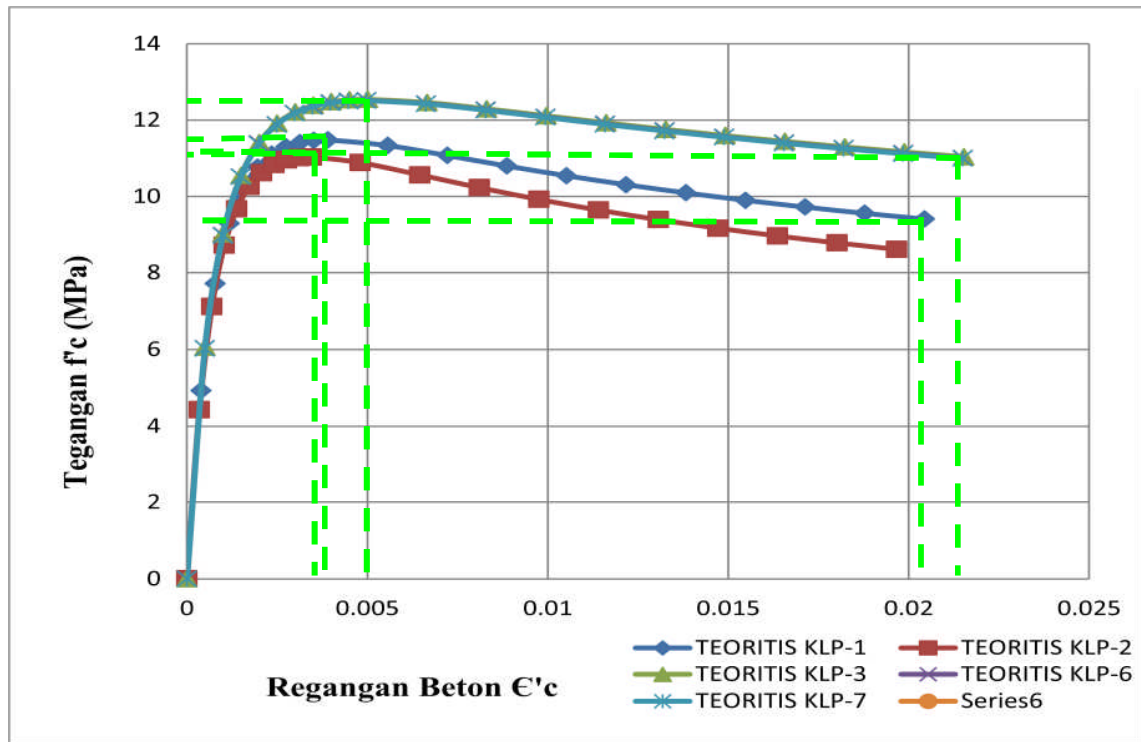
Hasil KLP₇ seperti pada tabel 3.6 di atas dapat pula digambarkan seperti pada grafik 3.5 dibawah ini, dimana tegangan kolom terkekang dengan regangan kolom terkekang dihubungkan dengan angka-angka pada kolom kedua (2) arah horizontal (regangan) dan kolom ke empat (4) pada arah vertikal (tegangan).



Grafik 3.5. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Analisa Teoritis Kolom KLP₇

Berdasarkan grafik 3.1 hubungan tegangan-regangan pada kolom terkekang dengan tulangan transversal Ø4,7 mm tanpa lubang (KLP₁) bila dibandingkan dengan grafik 3.2 pada kolom terkekang tulangan transversal yang sama dengan penempatan lubang utama di tengah-tengah kolom maka terjadi penurunan kekuatan pada KLP₂. Namun pada grafik 3.3 hubungan tegangan-regangan kolom terkekang tulangan transversal Ø4,7 mm dengan penempatan lubang utama di tengah-tengah kolom dan diberi penambahan 6 buah tulangan longitudinal yang dililiti dengan tulangan transversal Ø4,7 mm mengalami peningkatan kekuatan bila dibandingkan dengan grafik 3.4 pada kolom KLP₆ dan grafik 3.5 pada kolom KLP₇ yang masing diberi tambahan 6 buah lubang bervariasi dan 8 buah lubang bervariasi. Dengan

demikian dari ke lima (5) tipe kolom tersebut diatas KLP₃ memiliki kekuatan yang signifikan bila dibandingkan dengan kekuatan kolom KLP₇, KLP₆, KLP₂ dan KLP₁.



Gambar 3.7 Kurva Daktilitas Regangan dengan beban maksimum kolom teoritis

Berikut ini adalah tabel rekapitulasi hasil perhitungan analisis teoritis hubungan tegangan-regangan pada masing-masing tipe kolom :

Tabel 3.7 Rekapitulasi perhitungan analisis f'_{cc} , ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu} dan P_{max}

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Leleh ϵ'_{cc}	Tegangan MPa	Perbedaan (%)	P_{max} Ton
KLP1	0.02044	0.00391	11.482	100.000	21.605
KLP2	0.01695	0.00345	11.036	-3.891	19.165
KLP3	0.02768	0.00501	12.538	9.194	25.411
KLP6	0.02752	0.00498	12.513	8.976	23.684
KLP7	0.02747	0.00497	12.505	8.903	23.109

Sumber Perhitungan

3.7 Analisa Daktilitas Regangan Teoritis Kolom

Faktor Daktilitas regangan atau perbandingan antara regangan maksimum kolom pada saat kolom mencapai kondisi diambang keruntuhan (ϵ_{cu}) dan regangan kolom pada saat kolom mencapai tegangan puncak (ϵ_{cc}), maka besarnya faktor daktilitas regangan dapat dihitung sebagai berikut: $\mu = \frac{\epsilon'_{cu}}{\epsilon'_{cc}}$

Dari hasil analisa kekuatan kolom secara teoritis pada Tabel 3.8 diatas didapatkan nilai daktilitas regangan kolom sebagai berikut:

Tabel 3.8. Rekapitulasi Analisa Beban maksimum dengan Daktilitas Regangan Teoritis 5 kolom

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Leleh ϵ'_{cc}	Daktilitas (μ)	Perbedaan (%)
KLP1	0.02044	0.00391	5.225	0.000
KLP2	0.01695	0.00345	4.918	-5.885
KLP3	0.02768	0.00501	5.529	5.808
KLP6	0.02752	0.00498	5.526	5.754
KLP7	0.02747	0.00497	5.525	5.735

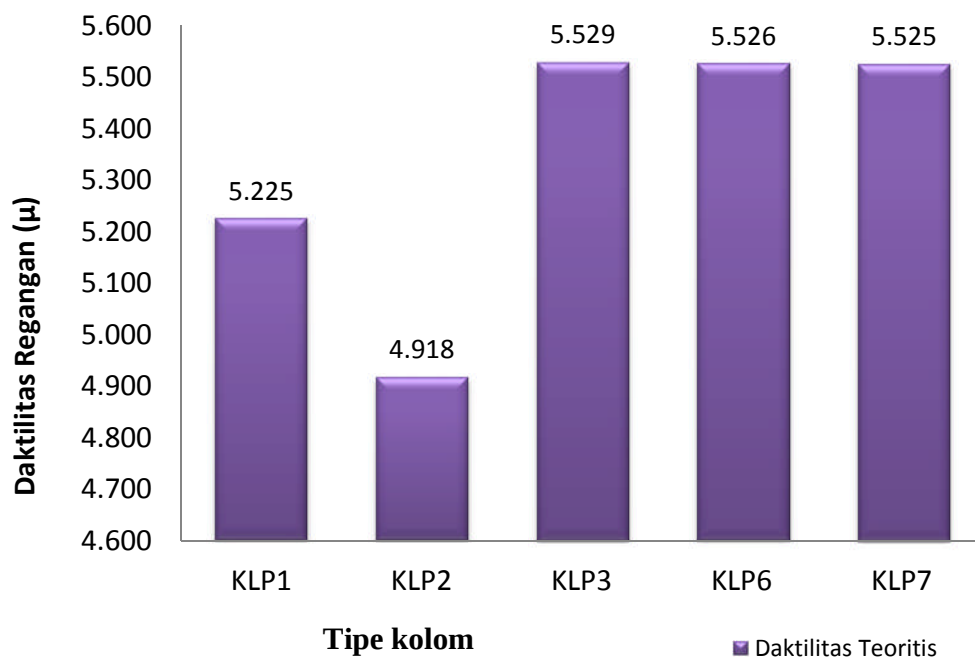
Sumber Perhitungan

1. $((5,225 - 5,225)/5,225) \times 100 \% = 0,000 \%$
2. $((4,918 - 5,225)/5,225) \times 100 \% = -5,885 \%$
3. $((5,529 - 5,225)/5,225) \times 100 \% = 5,808 \%$
4. $((5,526 - 5,225)/5,225) \times 100 \% = 2,754 \%$
5. $((5,5256 - 5,225)/5,225) \times 100 \% = 5,735 \%$

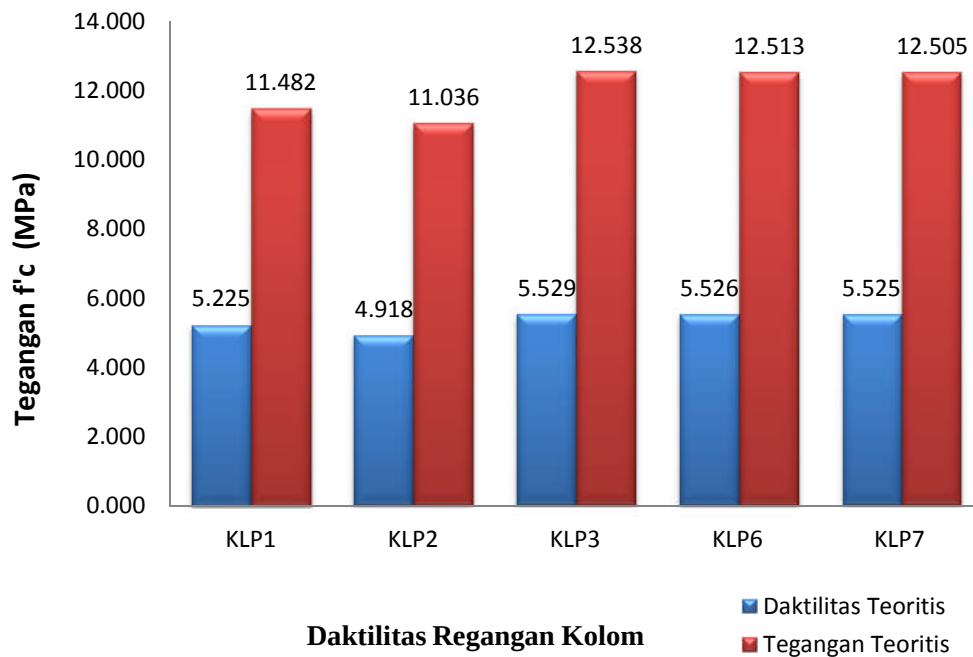
Berdasarkan tabel 3.8 diatas terlihat regangan kolom terkekang tanpa lubang KLP₁ mengalami peningkatan nilai daktilitas yang signifikan dibandingkan dengan kolom terkekang dengan lubang utama di tengah-tengah kolom KLP₂ yang nilai daktilitasnya menurun yaitu dari 5.225 menjadi 4.918. Demikian juga untuk kolom terkekang dengan lubang utama di tengah-tengah kolom dengan lilitan tulangan sengkang KLP₃ yang dibandingkan dengan kolom terkekang KLP₆ dan kolom terkekang KLP₇ dengan penempatan lubang utama yang sama dan lilitan tulangan

senggang yang sama dimana pada kolom KLP₆ ini diberi 6 buah lubang bervariasi yang nilai daktilitasnya meningkat menjadi 5.529 dan 8 buah lubang bervariasi untuk kolom KLP₇ yang nilai daktilitasnya menurun menjadi 5.526 yaitu KLP6 dan menjadi 5.525 yaitu KLP7.

Untuk melihat visualisasi yang lebih jelas tentang peningkatan daktilitas regangan kolom hasil analisa teoritis, dapat dilihat pada bar chart dibawah ini :



Gambar 3.8 Barchart Daktilitas Regangan kolom teoritis



Gambar 3.9 Barchart Daktilitas dan Tegangan kolom teoritis

3.8. Laporan yang akan dikerjakan

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data dan analisa data terhadap data hasil eksperimen yang meliputi pengkajian terhadap kuat tekan beton terkekang (f'_{cc}), regangan beton pada saat mencapai tegangan maksimum (ϵ'_{cc}), dan regangan ultimit (ϵ'_{cu}) untuk mengetahui perilaku yang terjadi pada 5 jenis kolom yang telah di teliti.

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

1. Pengaruh rasio volumetrik tulangan sengkang pada kolom persegi tanpa lubang dengan kolom persegi berlubang utama terhadap kurva hubungan tegangan-regan hasil eksperimen.
2. Pengaruh rasio volumetrik tulangan sengkang pada kolom tanpa lubang dengan kolom berlubang utama yang diberi 6 buah tulangan longitudinal dan

dililiti dengan tulangan sengkang terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.

3. Pengaruh rasio volumetrik tulangan sengkang pada kolom berlubang utama yang diberi 6 buah tulangan longitudinal dan dililiti tulangan sengkang dengan kolom persegi berlubang utama yang diberi jumlah tulangan yang sama namun diberi penambahan 6 buah lubang bervariasi terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.
4. Pengaruh rasio volumetrik tulangan sengkang pada kolom berlubang utama yang diberi 6 buah tulangan longitudinal dan dililiti tulangan sengkang dengan kolom persegi berlubang utama yang diberi jumlah tulangan yang sama namun diberi penambahan 8 buah lubang bervariasi terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil eksperimen.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Laboratorium

4.1.1. Perancangan Campuran Beton

Kuat tekan beton mutu normal direncanakan sebesar $f'_c = 22,5\text{MPa}$ namun pada saat pengecoran hasil pengujiannya tidak sesuai dengan kekuatan normal yang direncanakan yang mana kuat tekan mutu beton tersebut hanya mencapai 9,64 MPa. Pemilihan campuran beton ini dipilih langsung dari Ready Mix.

4.1.2. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standard ASTM C39-93a (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylinder Concrete Specimen*). Alat uji tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Machine (UTM)*. Untuk mendapatkan kuat tekan beton (f'_c) yang akan dipakai dalam menganalisa data eksperimen, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 150 x 300 mm. Pengujian dilakukan setelah beton silinder dan 28 hari, dengan jumlah silinder sebanyak 10 buah. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh sebesar $f'_c = 9,64\text{ MPa}$. Perhitungan kuat tekan silinder selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Hari : Kamis 9 Agustus 2012

Umur : 28 Hari

Jumlah : 10 Buah

No	Benda Uji Silinder/ Kode	Berat (Kg)	Kuat Tekan (KN)	Kuat Tekan (MPa)
1	K ₁	12.48	19000	10.752
2	K ₂	12.51	19100	10.808
3	K ₃	12.50	19050	10.780
4	K ₄	12.48	18500	10.469
5	K ₅	12.52	19500	11.035
6	K ₆	12.40	15000	8.488
7	K ₇	12.40	16000	9.054
8	K ₈	12.54	19600	11.091
9	K ₉	12.50	18500	10.469
10	K ₁₀	12.48	19100	10.808

4.1.3. Pengujian Tarik Baja Tulangan

Pelaksanaan pengujian kuat tarik baja menggunakan SNI 07-2052-2002.

Alat uji yang digunakan adalah *Universal Testing Machine (UTM)*. Sebagaimana lazimnya, pengujian spesimen baja hanya dilakukan dengan tarikan saja, sedangkan pengujian tekan tidak dilakukan. Tulangan longitudinal dan spiral yang digunakan adalah Baja Tulangan Polos (BJTP) dengan diameter pengenal diwakili masing-masing satu sampel yaitu diameter 4,7 mm, diameter 5,6 mm dan Baja Tulangan Ulir (BJTU) diameter 9,05 mm dengan panjang awal BJTP dan BJTU adalah 500 mm 9,05 dengan kuat leleh hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tulangan Tarik Baja

Hari : Jumat 20 Juli 2012

Jumlah : 3 Sampel

No	1	2	3
Specimen	BJTP	BJTP	BJTU
Dia. Aktual (mm)	4.70	5.60	9.05
Luas (mm ²)	17.35	24.63	64.33
Tegangan Leleh (MPa)	223.120	342.979	356.192
Tegangan Tarik (MPa)	310.955	445.833	494.677
Elongation (%)	51,822	73,067	108,978

Keterangan :

BJTP = Baja Tulangan Polos

BJTU = Baja Tulangan Ulir

4.2. Hasil Pengujian Tekan Kolom

4.2.1. Kolom Beton Terkekang (KLP₁)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom KLP1 diawali dengan retak arah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 11$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.1a, dan 4.1b, gambar ini diambil pada saat beban P mendekati beban puncak. Beban puncak tercapai pada beban tekan $P = 21$ ton, yang ditandai dengan lepasnya selimut beton,

kemudian bagian inti beton mulai pecah karena efek pengekanan berkurang. Beban tekan tetap diberikan hingga tulangan transversal BJTPØ4,7 leleh dan inti beton mulai runtuh hingga beban menurun $P = 12$ ton, sehingga pengujian kolom KLP1 dihentikan.



(a) Gambar 4.1 Pengujian Kolom KLP1 (b)

2. *Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton*

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan (P) dan besar displacement yang diukur menggunakan alat Dial sebanyak 2 buah. Nilai displacement yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah Dial yang dibagi dengan tinggi kolom mula-mula yaitu $L = 260$ mm untuk memperoleh nilai regangan.

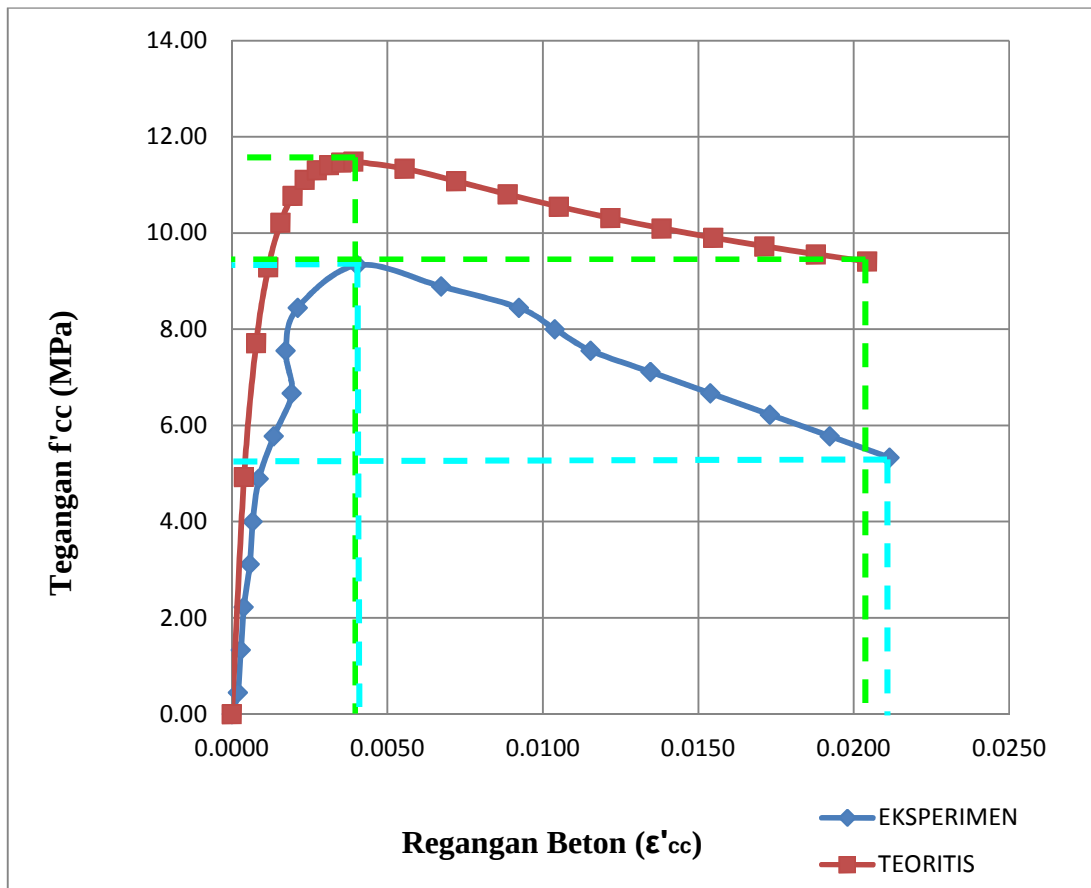
Hasil analisa eksperimen ini dapat ditabelkan dan disajikan langsung dalam bentuk grafik atau kurva. Dengan pengisian tabel akan diberi keterangan yang jelas, seperti pada tabel 4.3 dibawah ini yang mana kolom pertama adalah pengisian beban (ton), kolom kedua adalah pengisian dial 1 (mm), kolom

ketiga adalah pengisian dial 2 (mm), kolom ke empat adalah tinggi mula-mula kolom setinggi dial (mm), kolom kelima adalah luasan penampang beton (mm^2), kolom ke enam adalah kuat tekan beton (MPa), kolom ketujuh adalah regangan beton pada dial 1, kolom ke delapan adalah regangan beton pada dial 2 dan kolom ke sembilan adalah regangan beton rata-rata.

Tabel 4.3 Hasil Eksprimen Pengujian Kolom Beton KLP1

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)	A_g (mm²)	f_{cc} (MPa)	ε_{cc1}	ε_{cc2}	ε_{cc} rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.000	0.000	0.000	260	22500	0.00	0.00000	0.00000	0.00000
1.000	0.010	0.000	260	22500	0.44	0.00038	0.00000	0.00019
3.000	0.010	0.005	260	22500	1.33	0.00038	0.00019	0.00029
5.000	0.010	0.010	260	22500	2.22	0.00038	0.00038	0.00038
7.000	0.015	0.015	260	22500	3.11	0.00058	0.00058	0.00058
9.000	0.010	0.025	260	22500	4.00	0.00038	0.00096	0.00067
11.000	0.010	0.035	260	22500	4.89	0.00038	0.00135	0.00087
13.000	0.020	0.050	260	22500	5.78	0.00077	0.00192	0.00135
15.000	0.020	0.080	260	22500	6.67	0.00077	0.00308	0.00192
17.000	0.020	0.070	260	22500	7.56	0.00077	0.00269	0.00173
19.000	0.030	0.080	260	22500	8.44	0.00115	0.00308	0.00212
21.000	0.100	0.110	260	22500	9.33	0.00385	0.00423	0.00404
20.000	0.200	0.150	260	22500	8.89	0.00769	0.00577	0.00673
19.000	0.380	0.100	260	22500	8.44	0.01462	0.00385	0.00923
18.000	0.430	0.110	260	22500	8.00	0.01654	0.00423	0.01038
17.000	0.480	0.120	260	22500	7.56	0.01846	0.00462	0.01154
16.000	0.530	0.170	260	22500	7.11	0.02038	0.00654	0.01346
15.000	0.580	0.220	260	22500	6.67	0.02231	0.00846	0.01538
14.000	0.630	0.270	260	22500	6.22	0.02423	0.01038	0.01731
13.000	0.680	0.320	260	22500	5.78	0.02615	0.01231	0.01923
12.000	0.730	0.370	260	22500	5.33	0.02808	0.01423	0.02115

Kurva tegangan-regangan beton kolom KLP_1 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.3 yaitu angka-angka pada kolom 9 dan kolom 6. Sedangkan kurva tegangan-regangan beton kolom KLP_1 hasil analisa teoritis menurut Mander diambil dari Grafik 3.1. Kurva tegangan-regangan beton kolom KLP_1 hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Grafik 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik Gabungan Hubungan Tegangan-Regangan Kolom Beton Teoritis dan Eksperimen KLP-1

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.1, di atas terlihat ada perbedaan nilai f'_{cc} , ϵ'_{cc} dan ϵ'_{cu} pada kurva tegangan-regangan beton kolom $KLP-1$

eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai f'_{cc} , ε'_{cc} dan ε'_{cu} dapat diuraikan sebagai berikut : Kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai tegangan beton terkekang (f'_{cc}) maksimum sebesar 9,333 MPa sedangkan tegangan beton terkekang (f'_{cc}) hasil analisa teoritis sebesar 11,482 MPa sehingga terdapat perbedaan penurunan kuat tekan beton terkekang sebesar 18,72 %. Nilai regangan tekan beton (ε'_{cc}) hasil analisa eksperimen sebesar 0,00404 sedangkan nilai regangan tekan beton (ε'_{cc}) hasil analisa teoritis sebesar 0,00391 atau mengalami peningkatan sebesar 3,26 %. Nilai regangan tekan beton ultimit (ε'_{cu}) hasil analisa eksperimen sebesar 0,02115 sedangkan nilai regangan tekan beton ultimit (ε'_{cu}) hasil analisa teoritis sebesar 0,02044 atau terdapat perbedaan sebesar 3,51 %. Sehingga dari grafik 4.1 diatas dapat di simpulkan bahwa Kurva hasil eksperimen KLP1 mempunyai kemiringan sudut kurva yang turun lebih kecil dari kurva hasil analisis teoritisnya. Hal ini disebabkan karena pembacaan hasil displacement pada Dial dan beban tekan UTM yang secara manual.

4.2.2. Kolom Beton Terkekang (KLP₂)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Mekanisme keruntuhan kolom KLP2 diawali dengan retak arah memanjang kolom pada saat beban mencapai $P = 7$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2a, dan 4.2b, gambar ini diambil pada saat beban P mendekati beban puncak. Beban puncak tercapai pada beban tekan $P = 19$ ton, yang ditandai dengan lepasnya selimut beton, kemudian bagian inti beton mulai pecah karena efek pengekanan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian awal yang terbatas ini memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisa teoritis penambahan lubang di tengah-tengah pada kolom terkekang KLP2 mengakibatkan penurunan kuat tekan kolom eksperimen (f'_{cc}) sebesar 9,167 MPa, kuat tekan kolom teoritis (f'_{cc}) 11,04 MPa sehingga terjadi perbedaan (f'_{cc}) sebesar 16,94%, regangan beton terkekang eksperimen (ϵ'_{cc}) sebesar 0.00385, regangan beton terkekang teoritis (ϵ'_{cc}) sebesar 0.00345 sehingga terjadi perbedaan (f'_{cc}) sebesar 11,56%, regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) 0,01904, regangan beton terkekang ultimit (ϵ'_{cu}) 0,01695 sehingga terjadi perbedaan (ϵ'_{cu}) sebesar 12,29%, (tabel 4.8 hal 106) dan daktilitas ekperimental sebesar 4,950, daktilitas ekperimental sebesar 4,918 sehingga terjadi perbedaan 0,658%. (tabel 4.10 hal 111)
2. Analisa teoritis penambahan lubang di tengah-tengah yang diberi 6 buah tulangan dengan Ø5,6 mm dan dililiti dengan tulangan sengkang dengan jarak tiap lilitan 90 mm pada kolom terkekang KLP3 mengakibatkan peningkatan kuat tekan kolom eksperimen (f'_{cc}) sebesar 12,06 MPa, kuat tekan kolom teoritis (f'_{cc}) 12,54 MPa sehingga terjadi perbedaan (f'_{cc}) sebesar 3,80%,

regangan beton terkekang eksperimen (ε'_{cc}) sebesar 0.00481, regangan beton terkekang teoritis (ε'_{cc}) sebesar 0.00501 sehingga terjadi perbedaan (f'_{cc}) sebesar 3,97%, regangan beton terkekang ultimit (ε'_{cu}) 0,02692, regangan beton terkekang ultimit (ε'_{cu}) 0,02768 sehingga terjadi perbedaan (ε'_{cu}) sebesar 2,73%, (tabel 4.8 hal 106) dan daktilitas ekperimental sebesar 5,600, daktilitas teoritis sebesar 5,529 sehingga terjadi perbedaan 1,291%. (tabel 4.10 hal 111)

3. Analisa teoritis penambahan lubang di tengah-tengah yang diberi 6 buah tulangan dengan Ø5,6 mm dan dililiti tulangan sengkang dengan jarak tiap lilitan 90 mm pada kolom terkekang dengan tambahan 8 buah lubang bervariasi KLP7 mengakibatkan penurunan kuat tekan kolom eksperimen (f'_{cc}) sebesar 10,86 MPa, kuat tekan kolom teoritis (f'_{cc}) 12,50 MPa sehingga terjadi perbedaan (f'_{cc}) sebesar 13,19%, regangan beton terkekang eksperimen (ε'_{cc}) sebesar 0.00591, regangan beton terkekang teoritis (ε'_{cc}) sebesar 0.00497 sehingga terjadi perbedaan (f'_{cc}) sebesar 4,44%, regangan beton terkekang ultimit (ε'_{cu}) 0,02750, regangan beton terkekang ultimit (ε'_{cu}) 0,02747 sehingga terjadi perbedaan (ε'_{cu}) sebesar 0,12%, (tabel 4.8 hal 106) dan daktilitas ekperimental sebesar 5,346, daktilitas ekperimental sebesar 5,527 sehingga terjadi perbedaan 4,136%. (tabel 4.10 hal 111)

5.2. Saran

1. Dalam penelitian ini mix design yang di pilih untuk pengecoran benda uji, waktunya sudah terlampaui sehingga mempengaruhi mutu beton yang awalnya 22,5 MPa yang diharapkan menurun drastis menjadi 9,64 MPa, dengan demikian untuk memperoleh mutu beton yang lebih baik perlu dilakukan penelitian lanjutan.
2. Melihat mahalnya biaya pengujian kolom dan tempat pengujian yang jauh, maka penulis menyarankan ke pihak kampus Institut Teknologi Nasional Malang khususnya Program Studi Teknik Sipil untuk menyediakan alat Universal Testing Mechine (UTM) yang layak agar pengujian dapat dilakukan langsung di Lap ITN.
3. Kepada rekan-rekan sejurusan di Institut Teknologi Nasional Malang yang tertarik melanjutkan penelitian ini, penulis menyarankan perlu memperhatikan proses pengecoran pada saat dilakukan pemadatan dan perataan permukaan benda uji yang baik agar hasil yang diperoleh sesuai dengan keinginan yang kita harapkan.
4. SNI membatasi lubang pada kolom sebesar 4%, untuk lubang yang lebih besar dari 4% dan lubang lebih dari satu maka dari hasil uji eksperimental dapat di rekomendasikan bahwa semakin banyak variasi lubang maka makin besar pula pengaruh terhadap kekuatan kolom dan daktilitasnya makin menurun, namun dengan penambahan tulangan pada lubang utama, kekuatan kolom akan tetap atau lebih dari kolom utuh (tidak berlubang).

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Sabariman ACI 318M – 95 **Jurnal Efek pengekangan Kolom Berlubang Beton Mutu Tinggi Terhadap Daktilitas Kurvatur**
- R. Park and T. Paulay **Reinforced Concrete Structures**
- Anonim, Badan Standardisasi Nasional 2002, **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002**, Bandung.
- Renaningsih, **Jurnal Analisis Penampang Kolom Beton Bertulang Persegi Berlubang Menggunakan PCA COL**
- Mander J. B., Priestley M. J. N., Park R., **Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete**, Journal of Structural engineering, ASCE, V. 114. No. 8, August 1988, pp. 1804 - 1826.
- Mander J. B., Priestley M. J., Park R., **Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete**, Journal of Structural engineering, ASCE, V. 114. No. 8, August 1988, pp. 1827 - 1849.
- Park R., Paulay T., 1975, **Reinforced Concrete Structure**, New York : John Wiley and Sons.
- Popovics S., 1973, **A Numerical Approach to The Complete Stress-Strain Curve of Concrete**, Cement Concrete Research.
- Purwono R., Tavio, Imran I., Raka I. G. P., 2007, **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002 dilengkapi Penjelasan (S-2002)**, ITS Surabaya.



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

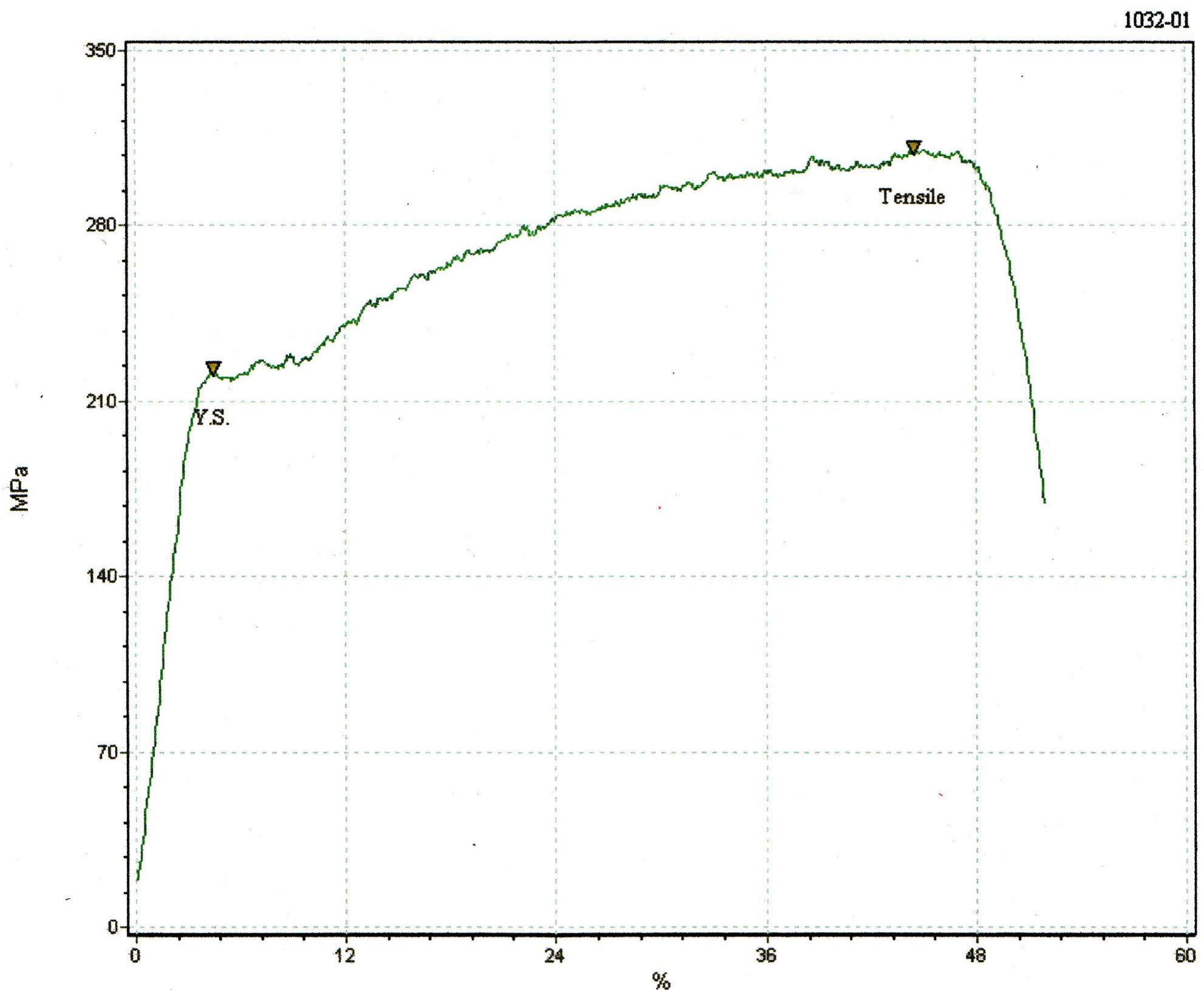
Test No : 1032

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 20/07/201

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Tulang Polos D4.7mm	17.35	5394.90	223.120	310.955	51.822



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

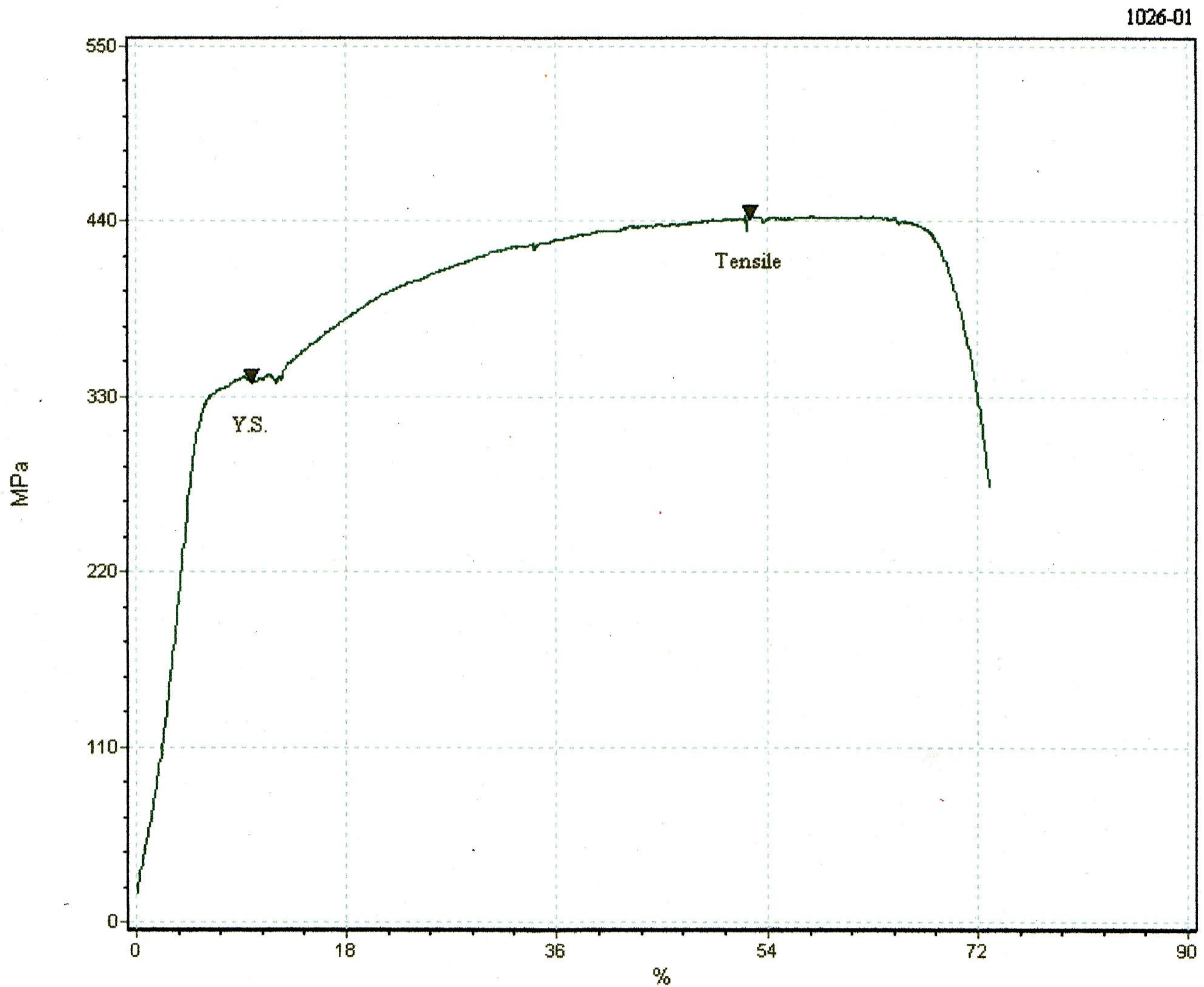
Test No : 1026

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 20/07/201

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Tulang Polos D5,6 mm	24.63	10980.90	342.979	445.833	73.067



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

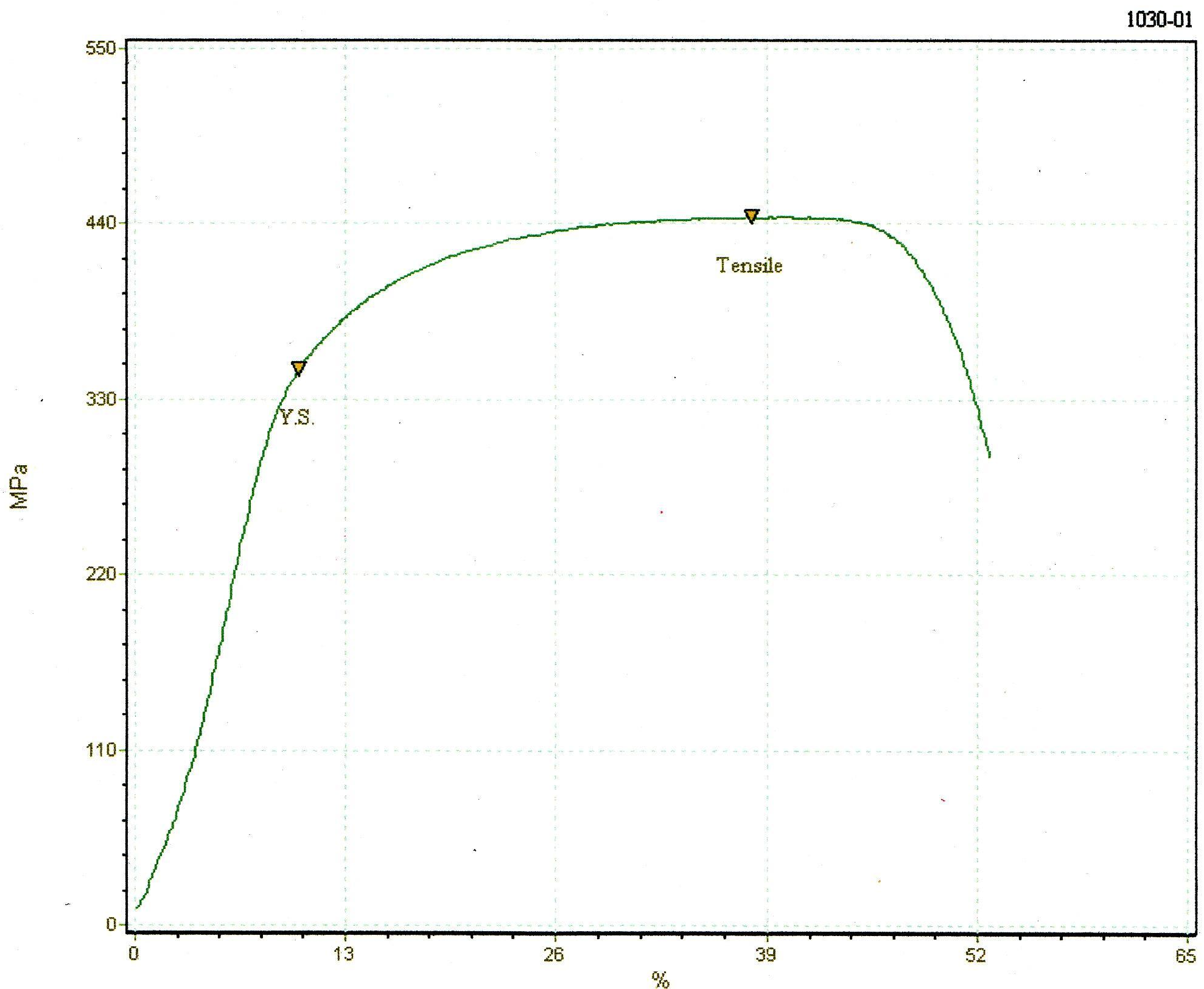
Test No : 1030

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 20/07/201

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Tulang Polos D7,2 mm	40.72	18105.50	349.131	444.688	52.711



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

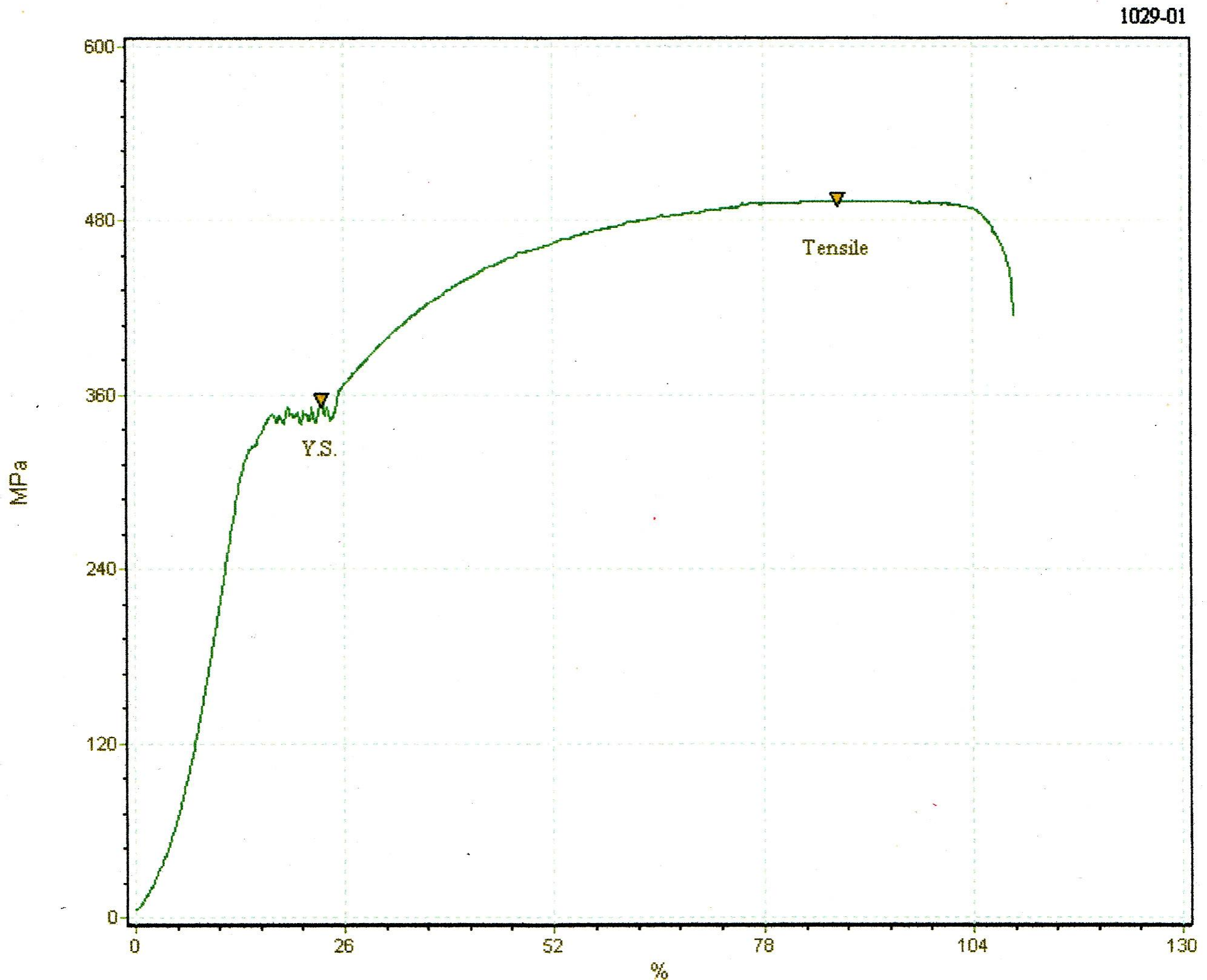
Test No : 1029

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 20/07/201

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Tulangan Ulir D9,05 mm	64.33	31820.60	356.192	494.677	108.978



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



Gambar 1. Pemotongan Papan Bekisting



Gambar 2. Pembuatan Bekisting



Gambar 3. Pembengkokan Senggang



Gambar 4. Pembuatan Lilitan Senggang Spiral



Gambar 5. Pemotongan Besi Tulangan Pokok



Gambar 6. Benda Uji



Gambar 7. Pemasangan Strain Gauges



Gambar 8. Kolom Yang terpasang Strain Gauges



Gambar 9. Kolom Yang Terpasang Strain Gauges



Gambar 10. Pengangkutan Campuran Beton



Gambar 11. Pengecoran Benda Uji



Gambar 12. Perendaman Benda Uji



Gambar 13. Pengujian kuat Tekan Benda Uji di ITS



Gambar 14. Operator Pembacaan Strain Gauges



Gambar 15. Pencatatan Manual Dial 1 dan Dial 2



Gambar 16. Mesin Benda Uji Kolom

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₁ (A)

SABTU, 11/08/2012

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.010	-0.030
3	2.000	0.030	-0.040
4	3.000	0.050	-0.050
5	4.000	0.070	-0.040
6	5.000	0.080	-0.050
7	6.000	0.100	-0.050
8	7.000	0.120	-0.060
9	8.000	0.130	-0.060
10	9.000	0.150	-0.060
11	10.000	0.160	-0.060
12	11.000	0.170	-0.060
13	12.000	0.180	-0.060
14	13.000	0.190	-0.060
15	14.000	0.200	-0.060
16	15.000	0.200	0.060
17	16.000	0.200	-0.050
18	17.000	0.230	-0.100
19	18.000	0.240	-0.150
20	19.000	0.260	-0.200
21	20.000	0.280	-0.330

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₁ (B)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.000
3	2.000	0.000	0.000
4	3.000	0.010	0.010
5	4.000	0.010	0.015
6	5.000	0.010	0.025
7	6.000	0.010	0.035
8	7.000	0.020	0.050
9	8.000	0.020	0.080
10	9.000	0.020	0.070
11	10.000	0.030	0.080
12	11.000	0.030	0.090
13	12.000	0.030	0.100
14	13.000	0.030	0.100
15	14.000	0.030	0.100
16	15.000	0.060	0.100
17	16.000	0.070	0.100
18	17.000	0.090	0.100
19	18.000	0.120	0.110

20	19.000	0.150	0.120
21	20.000	0.200	0.150
22	20.500	0.450	0.200

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₂ (A)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.010	0.010
3	2.000	0.020	0.010
4	3.000	0.030	0.010
5	4.000	0.040	0.010
6	5.000	0.050	0.010
7	6.000	0.120	0.015
8	7.000	0.180	0.070
9	8.000	0.310	0.100
10	9.000	0.450	0.100
11	10.000	0.600	0.200

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₂ (B)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.010	0.000
3	2.000	0.050	-0.020
4	3.000	0.080	-0.030
5	4.000	0.130	-0.040
6	5.000	0.160	-0.040
7	6.000	0.190	-0.040
8	7.000	0.210	-0.040
9	8.000	0.250	-0.040
10	9.000	0.350	-0.040
11	10.000	0.450	-0.020
12	11.000	0.550	-0.020
13	12.000	0.630	-0.020
14	13.000	0.700	0.000
15	14.000	0.580	0.000
16	14.500	0.580	0.000

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₃(A)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.050	-0.015
3	2.000	0.060	-0.015

4	3.000	0.070	0.010
5	4.000	0.080	0.010
6	5.000	0.100	0.015
7	6.000	0.120	0.050
8	7.000	0.180	0.060
9	8.000	0.220	0.100
10	9.000	0.260	0.120
11	10.000	0.300	0.150
12	11.000	0.350	0.020
13	12.000	0.400	0.300
14	13.000	0.430	0.400
15	14.000	0.550	0.550
16	15.000	0.700	0.600
17	15.800	0.950	1.000

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₃(B)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.010	0.005
3	2.000	0.020	0.020
4	3.000	0.020	0.030
5	4.000	0.030	0.050
6	5.000	0.040	0.080
7	6.000	0.050	0.120
8	7.000	0.080	0.130
9	8.000	0.150	0.130
10	9.000	0.160	0.140
11	10.000	0.160	0.200
12	11.000	0.180	0.600
13	11.500	0.200	0.900

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₄(A)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.010
3	2.000	0.000	0.030
4	3.000	0.010	0.050
5	4.000	0.010	0.100
6	5.000	0.010	0.140

7	6.000	0.030	0.300
8	7.000	0.050	0.450
9	8.000	0.060	0.620
10	9.000	0.070	0.750
11	10.000	0.100	0.900
12	11.000	0.120	1.400
13	12.000	0.150	1.500
14	13.000	0.200	1.200
15	14.000	0.250	1.290
16	15.000	0.350	1.450
17	16.000	0.450	1.890
18	16.600	0.570	2.500

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₄(B)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	1.000	0.000	0.000
2	2.000	0.000	0.005
3	3.000	0.000	0.015
4	4.000	0.000	0.020
5	5.000	0.000	0.030
6	6.000	0.000	0.012
7	7.000	0.000	0.020
8	8.000	0.050	2.300
9	9.000	0.100	2.700
10	10.000	0.200	2.900
11	11.000	0.250	3.400
12	12.000	0.350	4.200
13	12.500	0.750	6.100

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₅(A)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.010
3	2.000	0.010	0.020
4	3.000	0.020	0.030
5	4.000	0.030	0.040
6	5.000	0.040	0.050
7	6.000	0.050	0.060
8	7.000	0.060	0.080
9	8.000	0.090	0.100
10	9.000	0.100	0.200

11	10.000	0.110	0.310
12	11.000	0.140	0.490
13	12.000	0.320	0.800
14	13.000	0.580	1.100
15	14.000	1.000	1.420

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₅(B)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.020	0.000
3	2.000	0.060	-0.020
4	3.000	0.080	-0.020
5	4.000	0.120	-0.030
6	5.000	0.150	-0.020
7	6.000	0.17	-0.030
8	7.000	0.200	-0.040
9	8.000	0.220	-0.050
10	9.000	0.220	-0.060
11	10.000	0.200	-0.080
12	11.000	0.240	-0.100
13	12.000	0.300	-0.120
14	13.000	0.350	-0.010
15	14.000	0.360	-0.110

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₆(A)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.010	0.000
3	2.000	0.040	0.000
4	3.000	0.050	0.010
5	4.000	0.080	0.025
6	5.000	0.100	0.050
7	6.000	0.200	0.080
8	7.000	0.300	0.140
9	8.000	0.500	0.150
10	9.000	0.750	0.240
11	10.000	0.850	0.450
12	10.800	1.000	1.900

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₆(B)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.000
3	2.000	0.000	0.000
4	3.000	-0.010	-0.010
5	4.000	-0.020	-0.020
6	5.000	-0.020	-0.060
7	6.000	0.000	-0.100
8	7.000	0.000	-0.110
9	8.000	0.020	-0.110
10	9.000	0.030	0.150
11	10.000	0.050	0.015
12	11.000	0.150	0.200
13	11.500	0.700	0.500

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₇(A)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.010
3	2.000	0.000	0.050
4	3.000	0.000	0.050
5	4.000	0.000	0.070
6	5.000	0.000	0.090
7	6.000	0.020	0.100
8	7.000	0.030	0.110
9	8.000	0.050	0.130
10	9.000	0.080	0.150
11	10.000	0.120	0.180
12	11.000	0.220	0.240
13	12.000	0.450	0.500

Data hasil pengujian kuat tekan kolom KLP₇(B)

No	Interval Tekan (TON)	Dial 1	Dial 2
1	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.075
3	2.000	-0.040	0.120
4	3.000	-0.040	0.160
5	4.000	-0.040	0.200

6	5.000	-0.050	0.360
7	6.000	-0.200	0.600
8	7.000	-0.100	0.900
9	8.000	0.000	1.200
10	8.800	0.010	1.480

Data hasil pengujian kuat tekan kolom 21 hari

Sabtu, 04/08/2012

No	Benda Uji Silinder Kode	Berat (KG)	Kuat Tekan
			(KN)
1	K1	12,62	130
2	K2	12,35	115
3	K3	12,47	120
4	K4	12,58	125
5	K5	12,45	120

Data hasil pengujian kuat tekan kolom 28 hari

kamis, 09/08/2012

No	Benda Uji Silinder Kode	Berat (KG)	Kuat Tekan
			(KN)
1	K6	12.31	190
2	K7	12.56	150
3	K8	12.54	190
4	K9	12.50	95
5	K10	12.48	185
6		11.75	375

Data hasil Pengujian Kolom di Lap Beton Institut Teknologi 10 November Surabaya (ITS)

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -1

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.015	0.000	260
3.000	0.010	0.010	260
5.000	0.005	0.015	260
7.000	0.010	0.020	260
9.000	0.015	0.025	260
11.000	0.020	0.035	260
13.000	0.025	0.050	260
15.000	0.030	0.080	260
17.000	0.035	0.090	260
19.000	0.045	0.100	260
21.000	0.110	0.120	260
20.000	0.200	0.130	260
19.000	0.380	0.140	260
18.000	0.430	0.150	260
17.000	0.480	0.160	260
16.000	0.530	0.180	260
15.000	0.580	0.220	260
14.000	0.630	0.270	260
13.000	0.680	0.320	260
12.000	0.730	0.370	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -1

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.015	0.000	260
3.000	0.020	0.005	260
5.000	0.020	0.005	260
7.000	0.020	0.010	260
9.000	0.005	0.030	260
11.000	0.005	0.040	260
13.000	0.015	0.055	260
15.000	0.015	0.085	260
17.000	0.015	0.060	260
19.000	0.025	0.075	260
21.000	0.090	0.100	260
20.000	0.150	0.190	260
19.000	0.360	0.085	260
18.000	0.420	0.095	260
17.000	0.480	0.105	260
16.000	0.520	0.160	260
15.000	0.560	0.200	260
14.000	0.600	0.250	260
13.000	0.660	0.310	260
12.000	0.705	0.360	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -2

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.010	0.005	260
3.000	0.030	0.010	260
5.000	0.040	0.020	260
7.000	0.050	0.030	260
9.000	0.070	0.040	260
11.000	0.080	0.050	260
13.000	0.090	0.060	260
15.000	0.100	0.065	260
17.000	0.110	0.075	260
19.000	0.120	0.080	260
18.000	0.300	0.010	260
17.000	0.350	0.020	260
16.000	0.400	0.030	260
15.000	0.450	0.040	260
14.000	0.500	0.050	260
13.000	0.550	0.070	260
12.000	0.600	0.120	260
11.000	0.650	0.130	260
10.000	0.700	0.140	260
9.000	0.750	0.180	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -2

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.015	0.010	260
3.000	0.035	0.015	260
5.000	0.045	0.030	260
7.000	0.055	0.035	260
9.000	0.075	0.045	260
11.000	0.085	0.055	260
13.000	0.095	0.065	260
15.000	0.105	0.070	260
17.000	0.115	0.080	260
19.000	0.130	0.090	260
18.000	0.250	0.010	260
17.000	0.300	0.025	260
16.000	0.350	0.035	260
15.000	0.400	0.045	260
14.000	0.450	0.055	260
13.000	0.500	0.065	260
12.000	0.550	0.100	260
11.000	0.600	0.115	260
10.000	0.650	0.130	260
9.000	0.700	0.170	260

8.000	0.800	0.190	260
--------------	--------------	--------------	------------

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -3

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.010	260
3.000	0.010	0.015	260
5.000	0.020	0.025	260
7.000	0.030	0.040	260
9.000	0.040	0.055	260
11.000	0.045	0.060	260
13.000	0.050	0.065	260
15.000	0.060	0.070	260
17.000	0.075	0.080	260
19.000	0.080	0.085	260
21.000	0.085	0.090	260
23.000	0.090	0.100	260
25.000	0.120	0.130	260
24.000	0.300	0.200	260
23.000	0.400	0.300	260
22.000	0.500	0.400	260
21.000	0.600	0.450	260
20.000	0.700	0.500	260
19.000	0.750	0.550	260
18.000	0.800	0.600	260

8.000	0.750	0.185	260
--------------	--------------	--------------	------------

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -3

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.010	260
3.000	0.010	0.015	260
5.000	0.015	0.020	260
7.000	0.025	0.025	260
9.000	0.035	0.050	260
11.000	0.040	0.055	260
13.000	0.045	0.060	260
15.000	0.050	0.065	260
17.000	0.065	0.070	260
19.000	0.070	0.080	260
21.000	0.075	0.085	260
23.000	0.080	0.095	260
25.000	0.110	0.120	260
24.000	0.250	0.150	260
23.000	0.350	0.250	260
22.000	0.450	0.350	260
21.000	0.550	0.400	260
20.000	0.650	0.450	260
19.000	0.700	0.500	260
18.000	0.750	0.550	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP - 6

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.010	0.000	260
3.000	0.020	0.000	260
5.000	0.030	0.010	260
7.000	0.040	0.020	260
9.000	0.050	0.030	260
11.000	0.060	0.040	260
13.000	0.080	0.050	260
15.000	0.090	0.070	260
17.000	0.100	0.080	260
19.000	0.110	0.090	260
21.000	0.120	0.100	260
23.000	0.140	0.120	260
22.500	0.350	0.170	260
21.500	0.430	0.230	260
21.000	0.490	0.290	260
20.500	0.540	0.370	260
20.000	0.570	0.390	260
19.500	0.600	0.440	260
19.000	0.630	0.490	260
18.500	0.660	0.540	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP - 6

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.010	0.000	260
3.000	0.025	0.000	260
5.000	0.035	0.005	260
7.000	0.045	0.010	260
9.000	0.055	0.015	260
11.000	0.065	0.025	260
13.000	0.085	0.035	260
15.000	0.095	0.055	260
17.000	0.105	0.065	260
19.000	0.115	0.075	260
21.000	0.125	0.085	260
23.000	0.130	0.100	260
22.500	0.300	0.160	260
21.500	0.400	0.210	260
21.000	0.480	0.270	260
20.500	0.530	0.350	260
20.000	0.560	0.380	260
19.500	0.590	0.430	260
19.000	0.620	0.480	260
18.500	0.650	0.530	260

18.000	0.690	0.610	260
17.500	0.730	0.660	260

18.000	0.670	0.590	260
17.500	0.710	0.650	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP - 7

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.010	260
3.000	0.000	0.030	260
5.000	0.000	0.040	260
7.000	0.000	0.050	260
9.000	0.000	0.070	260
11.000	0.020	0.080	260
13.000	0.030	0.100	260
15.000	0.050	0.110	260
17.000	0.080	0.120	260
19.000	0.090	0.130	260
21.000	0.110	0.140	260
22.500	0.120	0.150	260
21.500	0.270	0.180	260
20.500	0.370	0.190	260
19.500	0.470	0.200	260
18.500	0.620	0.220	260
17.500	0.770	0.230	260
16.500	0.920	0.240	260
15.500	0.990	0.250	260
14.500	1.090	0.260	260
13.500	1.140	0.290	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP - 7

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.020	260
3.000	0.000	0.040	260
5.000	0.000	0.050	260
7.000	0.000	0.060	260
9.000	0.000	0.075	260
11.000	0.010	0.085	260
13.000	0.020	0.095	260
15.000	0.040	0.105	260
17.000	0.060	0.110	260
19.000	0.090	0.120	260
21.000	0.100	0.130	260
22.500	0.115	0.135	260
21.500	0.250	0.170	260
20.500	0.360	0.185	260
19.500	0.460	0.180	260
18.500	0.600	0.210	260
17.500	0.750	0.240	260
16.500	0.920	0.240	260
15.500	0.960	0.245	260
14.500	1.000	0.250	260
13.500	1.100	0.270	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -1

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.000	260
3.000	0.000	0.000	260
5.000	0.005	0.010	260
7.000	0.015	0.015	260
9.000	0.010	0.020	260
11.000	0.005	0.030	260
13.000	0.020	0.045	260
15.000	0.015	0.075	260
17.000	0.010	0.060	260
19.000	0.020	0.065	260
21.000	0.100	0.110	260
20.000	0.250	0.130	260
19.000	0.400	0.075	260
18.000	0.440	0.085	260
17.000	0.480	0.095	260
16.000	0.540	0.170	260
15.000	0.600	0.240	260
14.000	0.660	0.290	260
13.000	0.700	0.330	260
12.000	0.755	0.380	260

Rata -Rata

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.010	0.000	260
3.000	0.010	0.005	260
5.000	0.010	0.010	260
7.000	0.015	0.015	260
9.000	0.010	0.025	260
11.000	0.010	0.035	260
13.000	0.020	0.050	260
15.000	0.020	0.080	260
17.000	0.020	0.070	260
19.000	0.030	0.080	260
21.000	0.100	0.110	260
20.000	0.200	0.150	260
19.000	0.380	0.100	260
18.000	0.430	0.110	260
17.000	0.480	0.120	260
16.000	0.530	0.170	260
15.000	0.580	0.220	260
14.000	0.630	0.270	260
13.000	0.680	0.320	260
12.000	0.730	0.370	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -2

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.005	0.000	260
3.000	0.025	0.005	260
5.000	0.035	0.010	260
7.000	0.045	0.025	260
9.000	0.065	0.035	260
11.000	0.075	0.045	260
13.000	0.085	0.055	260
15.000	0.950	0.060	260
17.000	0.105	0.070	260
19.000	0.110	0.070	260
18.000	0.350	0.010	260
17.000	0.400	0.015	260
16.000	0.450	0.025	260
15.000	0.500	0.035	260
14.000	0.550	0.045	260
13.000	0.600	0.075	260
12.000	0.650	0.140	260
11.000	0.700	0.145	260
10.000	0.750	0.150	260
9.000	0.800	0.190	260

Rata -Rata

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.010	0.005	260
3.000	0.030	0.010	260
5.000	0.040	0.020	260
7.000	0.050	0.030	260
9.000	0.070	0.040	260
11.000	0.080	0.050	260
13.000	0.090	0.060	260
15.000	0.385	0.065	260
17.000	0.110	0.075	260
19.000	0.120	0.080	260
18.000	0.300	0.010	260
17.000	0.350	0.020	260
16.000	0.400	0.030	260
15.000	0.450	0.040	260
14.000	0.500	0.050	260
13.000	0.550	0.070	260
12.000	0.600	0.120	260
11.000	0.650	0.130	260
10.000	0.700	0.140	260
9.000	0.750	0.180	260

8.000	0.850	0.195	260
--------------	--------------	--------------	------------

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP -3

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.010	260
3.000	0.010	0.015	260
5.000	0.025	0.030	260
7.000	0.035	0.055	260
9.000	0.045	0.060	260
11.000	0.050	0.065	260
13.000	0.055	0.070	260
15.000	0.070	0.075	260
17.000	0.085	0.090	260
19.000	0.090	0.090	260
21.000	0.095	0.095	260
23.000	0.100	0.105	260
25.000	0.130	0.140	260
24.000	0.350	0.250	260
23.000	0.450	0.350	260
22.000	0.550	0.450	260
21.000	0.650	0.500	260
20.000	0.750	0.550	260
19.000	0.800	0.600	260
18.000	0.850	0.650	260

8.000	0.800	0.190	260
--------------	--------------	--------------	------------

Rata -Rata

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.010	260
3.000	0.010	0.015	260
5.000	0.020	0.025	260
7.000	0.030	0.040	260
9.000	0.040	0.055	260
11.000	0.045	0.060	260
13.000	0.050	0.065	260
15.000	0.060	0.070	260
17.000	0.075	0.080	260
19.000	0.080	0.085	260
21.000	0.085	0.090	260
23.000	0.090	0.100	260
25.000	0.120	0.130	260
24.000	0.300	0.200	260
23.000	0.400	0.300	260
22.000	0.500	0.400	260
21.000	0.600	0.450	260
20.000	0.700	0.500	260
19.000	0.750	0.550	260
18.000	0.800	0.600	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP - 6

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.010	0.000	260
3.000	0.015	0.000	260
5.000	0.025	0.015	260
7.000	0.035	0.030	260
9.000	0.045	0.045	260
11.000	0.055	0.055	260
13.000	0.075	0.065	260
15.000	0.085	0.085	260
17.000	0.095	0.095	260
19.000	0.105	0.105	260
21.000	0.115	0.115	260
23.000	0.150	0.140	260
22.500	0.400	0.180	260
21.500	0.460	0.250	260
21.000	0.500	0.310	260
20.500	0.550	0.390	260
20.000	0.580	0.400	260
19.500	0.610	0.450	260
19.000	0.640	0.500	260
18.500	0.670	0.550	260

Rata -Rata

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.010	0.000	260
3.000	0.020	0.000	260
5.000	0.030	0.010	260
7.000	0.040	0.020	260
9.000	0.050	0.030	260
11.000	0.060	0.040	260
13.000	0.080	0.050	260
15.000	0.090	0.070	260
17.000	0.100	0.080	260
19.000	0.110	0.090	260
21.000	0.120	0.100	260
23.000	0.140	0.120	260
22.500	0.350	0.170	260
21.500	0.430	0.230	260
21.000	0.490	0.290	260
20.500	0.540	0.370	260
20.000	0.570	0.390	260
19.500	0.600	0.440	260
19.000	0.630	0.490	260
18.500	0.660	0.540	260

18.000	0.710	0.630	260
17.500	0.750	0.670	260

18.000	0.690	0.610	260
17.500	0.730	0.660	260

Pencatatan Dial 1 dan Dial 2 KLP - 7

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.000	260
3.000	0.000	0.020	260
5.000	0.000	0.030	260
7.000	0.000	0.040	260
9.000	0.000	0.065	260
11.000	0.030	0.075	260
13.000	0.040	0.105	260
15.000	0.060	0.115	260
17.000	0.100	0.130	260
19.000	0.090	0.140	260
21.000	0.120	0.150	260
22.500	0.125	0.165	260
21.500	0.290	0.190	260
20.500	0.380	0.195	260
19.500	0.480	0.220	260
18.500	0.640	0.230	260
17.500	0.790	0.250	260
16.500	0.920	0.240	260
15.500	1.050	0.255	260
14.500	1.180	0.270	260
13.500	1.180	0.310	260

Rata - Rata

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)
1	2	3	4
0.000	0.000	0.000	260
1.000	0.000	0.010	260
3.000	0.000	0.030	260
5.000	0.000	0.040	260
7.000	0.000	0.050	260
9.000	0.000	0.070	260
11.000	0.020	0.080	260
13.000	0.030	0.100	260
15.000	0.050	0.110	260
17.000	0.080	0.120	260
19.000	0.090	0.130	260
21.000	0.110	0.140	260
22.500	0.120	0.150	260
21.500	0.270	0.180	260
20.500	0.370	0.190	260
19.500	0.470	0.200	260
18.500	0.620	0.220	260
17.500	0.770	0.240	260
16.500	0.920	0.240	260
15.500	1.000	0.250	260
14.500	1.090	0.260	260
13.500	1.140	0.290	260

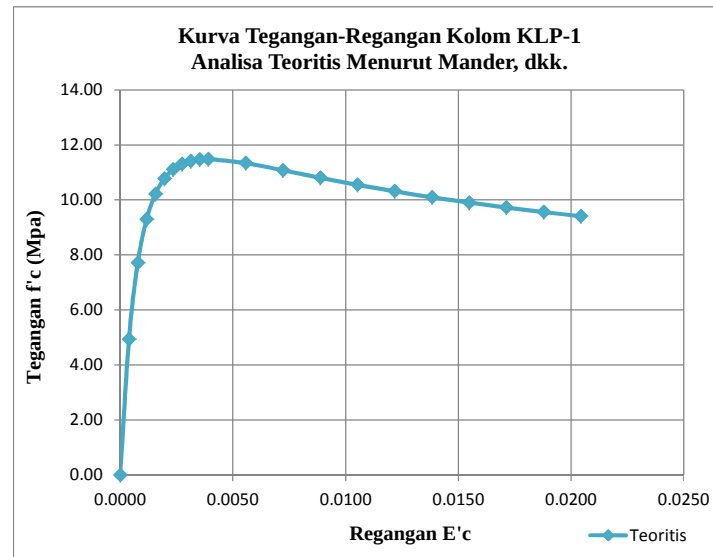
LAMPIRAN L1.2

Tabel dan Grafik Analisa Teoritis Hubungan Tegangan-Regangan Kolom

1) Analisa Teoritis Kolom Beton terkekang KLP-1 menurut Mander, dkk.

ϵ_{co}	=	0.002	ϕ tul long =	4 ϕ 9.05	Vol skng =	7310.5277 mm ²
ϵ_{cc}	=	0.00391	ϕ tul seng=	4.7 mm	Vol beton =	1815000 mm ²
Esec	=	2935.8149 MPa	fc	=	9.64 Mpa	
r	=	1.2259988	Dc'	=	105.3 mm	Pmaks =
Ec	=	15926.217 MPa	Ds'	=	110 mm	21.604795 Ton
K	=	1.191	Ag	=	11088 mm ²	
ρ_{sh}	=	0.0040278	Ast	=	257.41 mm ²	
f'cc	=	11.482 MPa	s	=	150 mm	
fyh	=	223.12 MPa	selimut	=	20 mm	
ϵ_{sm}	=	0.15	fy	=	356.19 Mpa	
ϵ_{cu}	=	0.02044				

No	ϵ_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00039	0.10000	4.932
3	0.00078	0.20000	7.713
4	0.00117	0.30000	9.291
5	0.00156	0.40000	10.216
6	0.00196	0.50000	10.771
7	0.00235	0.60000	11.105
8	0.00274	0.70000	11.303
9	0.00313	0.80000	11.414
10	0.00352	0.90000	11.468
11	0.00391	1.00000	11.482
12	0.00556	1.42251	11.336
13	0.00722	1.84503	11.076
14	0.00887	2.26754	10.804
15	0.01052	2.69006	10.548
16	0.01217	3.11257	10.312
17	0.01383	3.53509	10.097
18	0.01548	3.95760	9.901
19	0.01713	4.38012	9.723
20	0.01878	4.80263	9.559
21	0.02044	5.22515	9.408



Keterangan Kolom :

Kolom 1 = Nomor urut

Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton

Kolom 4 = Kuat tekan beton

Baris 1-11 adalah kurva naik

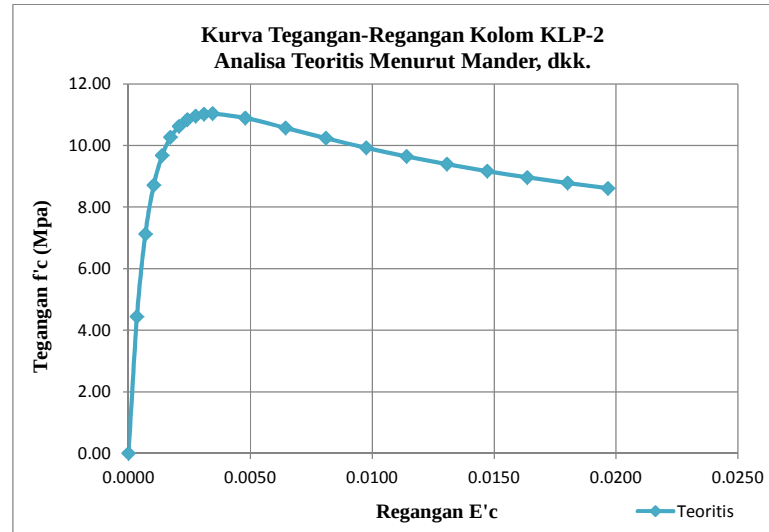
Baris 12-21 adalah kurva turun

2). Analisa Teoritis Kolom Beton terkekang KLP-2 menurut Mander, dkk.

ϵ_{co}	=	0.002	ϕ tul long =	4 ϕ 9.05	Vol skng =	5537.7599 mm ²
ϵ_{cc}	=	0.00345	ϕ tul seng=	4.7 mm	Vol beton =	1815000 mm ²
Esec	=	3200.866 MPa	fc	=	9.64 Mpa	fy =
						356.192 Mpa

r	=	1.2578755	Dc'	=	105.30 mm		
Ec	=	15613.315 MPa	Ds'	=	110.00 mm	Pmaks	= 19.16 Ton
K	=	1.1448	Agr	=	11088 mm2		
ρ_{sh}	=	0.0030511	Ast	=	257.41 mm2	luas lubang	= 1772.7679 mm2
f'cc	=	11.036 MPa	s	=	150 mm		
fyh	=	223.12 MPa	D lubang	=	47.5 mm		
ϵ_{sm}	=	0.15	Ag	=	9315.3 mm2		
ϵ_{cu}	=	0.01695	selimut	=	20 mm		

No	ϵ_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00034	0.10000	4.434
3	0.00069	0.20000	7.120
4	0.00103	0.30000	8.716
5	0.00138	0.40000	9.679
6	0.00172	0.50000	10.267
7	0.00207	0.60000	10.626
8	0.00241	0.70000	10.840
9	0.00276	0.80000	10.961
10	0.00310	0.90000	11.019
11	0.00345	1.00000	11.036
12	0.00480	1.39177	10.894
13	0.00645	1.87107	10.571
14	0.00810	2.35038	10.235
15	0.00976	2.82969	9.924
16	0.01141	3.30900	9.644
17	0.01306	3.78831	9.393
18	0.01471	4.26762	9.167
19	0.01637	4.74693	8.964
20	0.01802	5.22624	8.779
21	0.01967	5.70555	8.611



Keterangan Kolom :

Kolom 1 = Nomor urut

Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton

Kolom 4 = Kuat tekan beton

Baris 1-11 adalah kurva naik

Baris 12-21 adalah kurva turun

3). Analisa Teoritis Kolom Beton terkekang KLP-3 menurut Mander, dkk.

ϵ_{co}	=	0.002	ϕ tul long	=	4 ϕ 9.05	ϕ tul tgh	=	6 ϕ 5.6 mm		
ϵ_{cc}	=	0.00501	ϕ tul seng	=	4.7 mm	Ast 2	=	147.84 mm2	248.8095	
Esec	=	2504.4802 MPa	fc	=	9.64 MPa	fy	=	342.979 MPa		
r	=	1.1771481	Dc'	=	105.3 mm	Vol skg	=	11499.625 mm2		
Ec	=	16642.253 MPa	Ds'	=	110 mm	Vol btn	=	1815000 mm2		
K	=	1.301	Agr	=	11088 mm2	Pmaks	=	25.4107 Ton	0.078789683	
ρ_{sh}	=	0.00634	Ast 1	=	257.41 mm2	fy	=	356.192 MPa		
f'cc	=	12.538 MPa	s	=	150 mm	luas lubang	=	1772.7679 mm2		
fyh	=	223.12 MPa	D lubang	=	47.5 mm	fc	=	9.64 MPa		
ϵ_{sm}	=	0.15	Ag	=	9315.3 mm2	Ec	=	14592.724	7.88	

$$\epsilon_{cu} = 0.02768$$

$$\text{selimut} = 20 \text{ mm}$$

$$E_s = 200000$$

$$n = 0.0729636$$

No	ϵ_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00050	0.10000	6.057
3	0.00100	0.20000	9.012
4	0.00150	0.30000	10.554
5	0.00200	0.40000	11.414
6	0.00250	0.50000	11.915
7	0.00300	0.60000	12.210
8	0.00350	0.70000	12.383
9	0.00400	0.80000	12.479
10	0.00451	0.90000	12.525
11	0.00501	1.00000	12.538
12	0.00666	1.33009	12.455
13	0.00831	1.66018	12.292
14	0.00996	1.99027	12.111
15	0.01162	2.32036	11.930
16	0.01327	2.65045	11.757
17	0.01492	2.98054	11.595
18	0.01657	3.31063	11.443
19	0.01823	3.64072	11.302
20	0.01988	3.97081	11.170
21	0.02153	4.30089	11.047

Keterangan Kolom :

Kolom 1 = Nomor urut

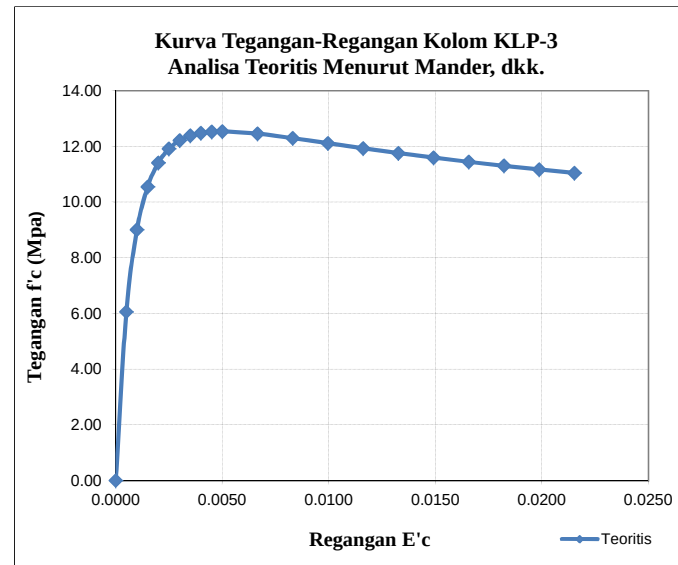
Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton

Kolom 4 = Kuat tekan beton

Baris 1-11 adalah kurva naik

Baris 12-21 adalah kurva turun



4). Analisa Teoritis Kolom Beton terkekang KLP-4 menurut Mander, dkk.

$$\epsilon_{co} = 0.002$$

$$\phi \text{ tul long} = 4 \phi 9.05$$

$$\phi \text{ tul tgh} = 6 \phi 5.6 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cc} = 0.00500$$

$$\phi \text{ tul seng} = 4.7 \text{ mm}$$

$$A_{st2} = 147.84 \text{ mm}^2$$

$$E_{sec} = 2507.1503 \text{ MPa}$$

$$f_c = 9.64 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 342.979 \text{ Mpa}$$

$$r = 1.1774401$$

$$D_{c'} = 105.3 \text{ mm}$$

$$Vol_{skg} = 11466.489 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 16636.71 \text{ MPa}$$

$$D_{s'} = 110 \text{ mm}$$

$$Vol_{btn} = 1815000 \text{ mm}^2$$

$$K = 1.300$$

$$A_{gr} = 11088 \text{ mm}^2$$

$$P_{maks} = 24.83 \text{ Ton}$$

$$33.13591$$

$$\rho_{sh} = 0.0063176$$

$$A_{st1} = 257.41 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 356.192 \text{ Mpa}$$

$$129.3476$$

$$f'_{cc} = 12.53 \text{ MPa}$$

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

$$luas \text{ lubang} = 1772.7679 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 9.64 \text{ MPa}$$

$$f_{yh} = 223.12 \text{ MPa}$$

$$D \text{ lubang} = 47.5 \text{ mm}$$

$$Lubang \text{ drain} = 17 \text{ mm}$$

$$n = 14592.72 = 0.072964$$

$$\epsilon_{sm} = 0.15$$

$$A_g = 8861.2 \text{ mm}^2$$

$$Jmlh \text{ lbing} = 2 \text{ bh}$$

$$E_s = 200000$$

$$\epsilon_{cu} = 0.02763$$

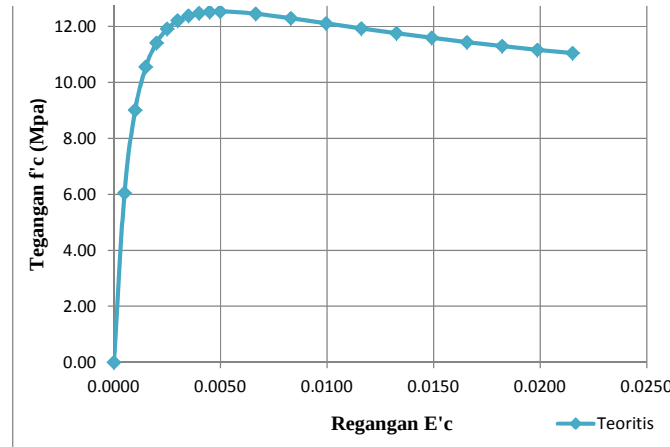
$$\text{selimut} = 20 \text{ mm}$$

$$A \text{ lubang} = 454.14286 \text{ mm}^2$$

No	ϵ_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00050	0.10000	6.049



3	0.00100	0.20000	9.002
4	0.00150	0.30000	10.544
5	0.00200	0.40000	11.405
6	0.00250	0.50000	11.906
7	0.00300	0.60000	12.202
8	0.00350	0.70000	12.375
9	0.00400	0.80000	12.471
10	0.00450	0.90000	12.517
11	0.00500	1.00000	12.530
12	0.00665	1.33066	12.446
13	0.00830	1.66132	12.283
14	0.00996	1.99198	12.101
15	0.01161	2.32265	11.920
16	0.01326	2.65331	11.747
17	0.01491	2.98397	11.584
18	0.01657	3.31463	11.432
19	0.01822	3.64529	11.291
20	0.01987	3.97595	11.158
21	0.02152	4.30662	11.035



Keterangan Kolom :

Kolom 1 = Nomor urut

Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton

Kolom 4 = Kuat tekan beton

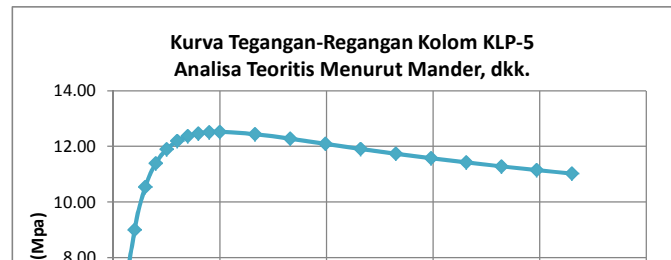
Baris 1-11 adalah kurva naik

Baris 12-21 adalah kurva turun

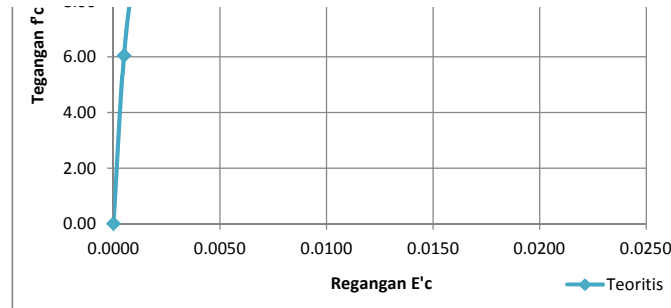
5). Analisa Teoritis Kolom Beton terkekang KLP-5 menurut Mander, dkk.

ϵ_{co} =	0.002	ϕ tul long =	4 ϕ 9.05	ϕ tul tgh =	6 ϕ 5.6 mm		
ϵ_{cc} =	0.00499	ϕ tul seng=	4.7 mm	Ast 2 =	147.84 mm ²		
Esec =	2509.8298 MPa	fc =	9.64 Mpa	fy =	342.979 Mpa		
r =	1.1777332	Dc' =	105.3 mm	Vol skg =	11433.353 mm ²	fc =	9.64 MPa
Ec =	16631.165 MPa	Ds' =	110 mm	Vol btn =	1815000 mm ²	n =	14592.72 = 0.072964
K =	1.299	Agr =	11088 mm ²	Pmaks =	24.26 Ton	Es =	200000
psh =	0.00630	Ast 1 =	257.41 mm ²	fy =	356.192 Mpa		
fcc =	12.5213 MPa	s =	150 mm				
fyh =	223.12 MPa	D lubang =	47.5 mm	luas lubang =	1772.7679 mm ²		
ϵ_{sm} =	0.15	Ag =	8407 mm ²	Lubang drain =	17 mm		129.3476
ϵ_{cu} =	0.02757	selimut =	20 mm	Jmlh Iblng =	4 bh		66.2718
				A lubang =	908.28571 mm ²		

No	ϵ_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00050	0.10000	6.040
3	0.00100	0.20000	8.993
4	0.00150	0.30000	10.535
5	0.00200	0.40000	11.396
6	0.00249	0.50000	11.897
7	0.00299	0.60000	12.193
8	0.00349	0.70000	12.366



9	0.00399	0.80000	12.463
10	0.00449	0.90000	12.509
11	0.00499	1.00000	12.521
12	0.00664	1.33124	12.437
13	0.00829	1.66247	12.274
14	0.00995	1.99371	12.091
15	0.01160	2.32494	11.910
16	0.01325	2.65618	11.736
17	0.01490	2.98741	11.573
18	0.01656	3.31865	11.421
19	0.01821	3.64989	11.279
20	0.01986	3.98112	11.147
21	0.02151	4.31236	11.023



Keterangan Kolom :

Kolom 1 = Nomor urut

Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton

Kolom 4 = Kuat tekan beton

Baris 1-11 adalah kurva naik

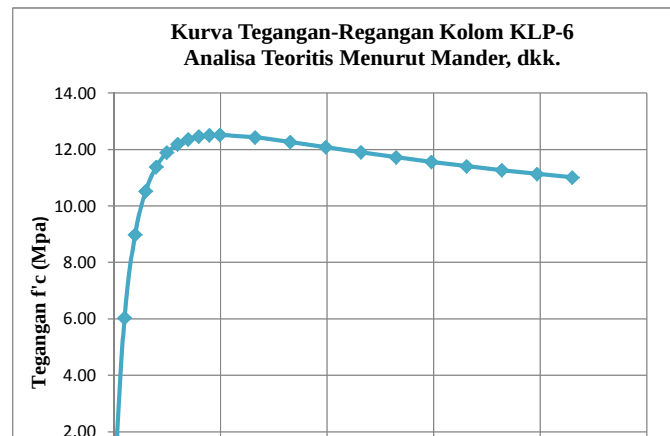
Baris 12-21 adalah kurva turun

6). Analisa Teoritis Kolom Beton terkekang KLP-6 menurut Mander, dkk.

ϵ_{co} =	0.002	ϕ tul long =	4 ϕ 9.05	ϕ tul tgh =	6 ϕ 5.6 mm		
ϵ_{cc} =	0.0049802	ϕ tul seng=	4.7 mm	Ast 2 =	147.84 mm ²		
Esec =	2512.5185 MPa	fc =	9.64 Mpa	fy =	342.979 Mpa		
r =	1.1780274	Dc' =	105.3 mm	Vol skg =	11400.217 mm ²		
Ec =	16625.618 MPa	Ds' =	110 mm	Vol btn =	1815000 mm ²		
K =	1.298	Agr =	11088 mm ²	Pmaks =	23.683599 Ton	fc =	9.64 MPa
ρ_{sh} =	0.0062811	Ast 1 =	257.41 mm ²	fy =	356.192 Mpa	n =	14592.72 = 0.072964
f'cc =	12.5130 MPa	s =	150 mm			Es =	200000
fyh =	223.12 MPa	D lubang =	47.5 mm	luas lubang =	1772.7679 mm ²		
ϵ_{sm} =	0.15	Ag =	7952.9 mm ²	Lubang drain =	17 mm		
ϵ_{cu} =	0.02752	selimut =	20 mm	Jmlh lbing =	6 bh		
				A lubang =	1362.4286 mm ²		
						129.3476	
						99.4077	

13.93

No	ϵ_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00050	0.10000	6.031
3	0.00100	0.20000	8.983
4	0.00149	0.30000	10.525
5	0.00199	0.40000	11.387
6	0.00249	0.50000	11.888
7	0.00299	0.60000	12.184
8	0.00349	0.70000	12.358
9	0.00398	0.80000	12.454
10	0.00448	0.90000	12.500
11	0.00498	1.00000	12.513
12	0.00663	1.33181	12.429
13	0.00829	1.66362	12.265
14	0.00994	1.99544	12.082
15	0.01159	2.32725	11.899



16	0.01324	2.65906	11.726
17	0.01490	2.99087	11.562
18	0.01655	3.32268	11.410
19	0.01820	3.65450	11.268
20	0.01985	3.98631	11.135
21	0.02151	4.31812	11.011

Keterangan Kolom :

Kolom 1 = Nomor urut

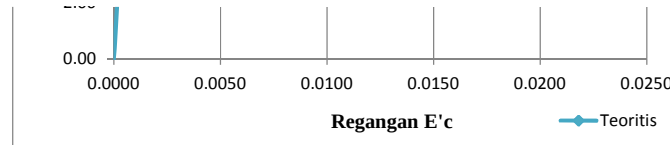
Kolom 2 = Regangan Beton

Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton

Kolom 4 = Kuat tekan beton

Baris 1-11 adalah kurva naik

Baris 12-21 adalah kurva turun

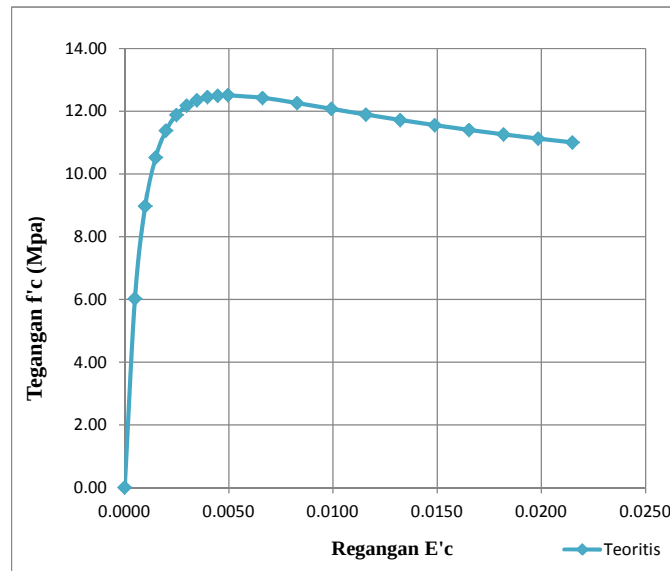


7). Analisa Teoritis Kolom Beton terkekang KLP-7 menurut Mander, dkk.

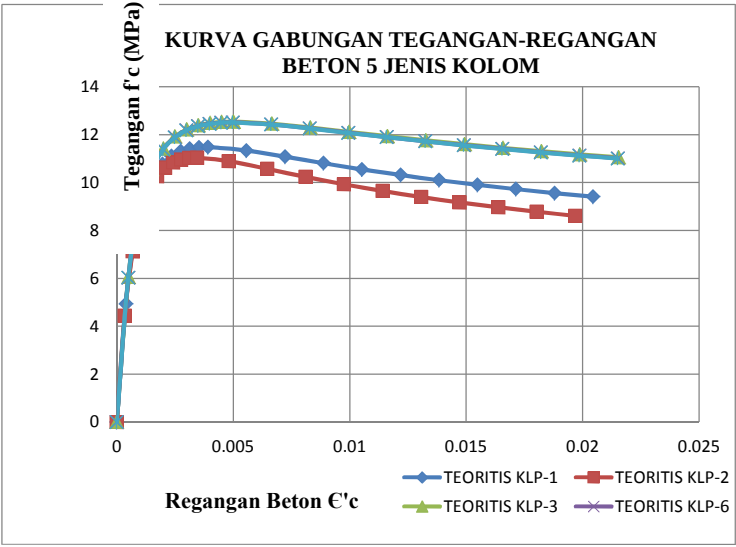
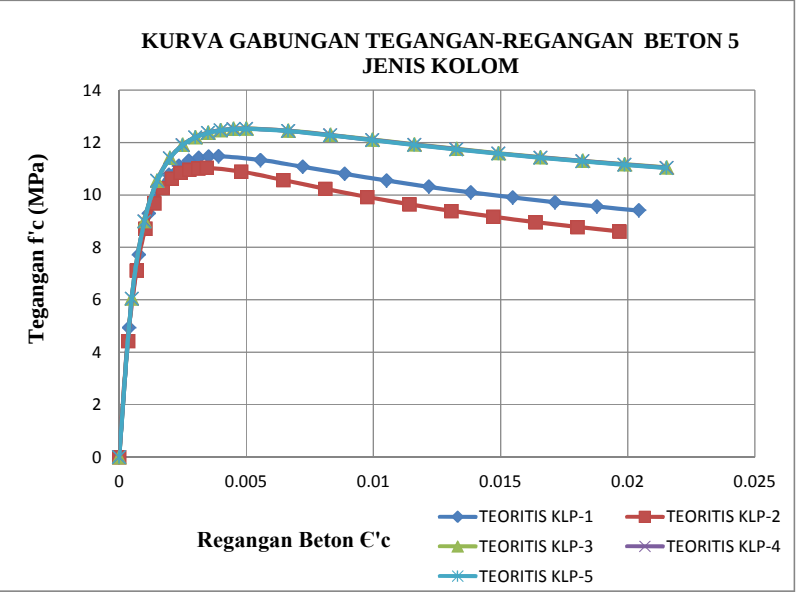
ϵ_{co} = 0.002	ϕ tul long = 4 ϕ 9.05	ϕ tul tgh = 6 ϕ 5.6 mm		
ϵ_{cc} = 0.0049716	ϕ tul seng = 4.7 mm	Ast 2 = 147.84 mm ²		
Esec = 2515.2166 MPa	fc = 9.64 Mpa	fy = 342.979 Mpa		
r = 1.1783228	Dc' = 105.3 mm	Vol skg = 11367.081 mm ²		
Ec = 16620.07 MPa	Ds' = 110 mm	Vol btn = 1815000 mm ²	fc = 9.64 MPa	
K = 1.297	Agr = 11088 mm ²	Pmaks = 23.109408 Ton	n = 14592.72 = 0.072964	
psh = 0.0062629	Ast 1 = 257.41 mm ²	fy = 356.192 Mpa	Es = 200000	
f'cc = 12.505 MPa	s = 150 mm			
fyh = 223.12 MPa	D lubang = 47.5 mm	luas lubang = 1772.7679 mm ²		
ϵ_{sm} = 0.15	Ag = 7498.8 mm ²	Lubang drain 17 mm		
ϵ_{cu} = 0.02747	selimut = 20 mm	Jmlh Iblng 8 bh	129.3476	
		A lubang 1816.5714 mm ²	132.5436	15.95

No	ϵ_c	X	f'c (Mpa)
1	2	3	4
1	0	0	0
2	0.00050	0.10000	6.023
3	0.00099	0.20000	8.973
4	0.00149	0.30000	10.516
5	0.00199	0.40000	11.377
6	0.00249	0.50000	11.879
7	0.00298	0.60000	12.176
8	0.00348	0.70000	12.349
9	0.00398	0.80000	12.446
10	0.00447	0.90000	12.492
11	0.00497	1.00000	12.505
12	0.00662	1.33239	12.420
13	0.00828	1.66478	12.256
14	0.00993	1.99717	12.072
15	0.01158	2.32956	11.889
16	0.01323	2.66195	11.715
17	0.01489	2.99434	11.551
18	0.01654	3.32673	11.399
19	0.01819	3.65912	11.256
20	0.01984	3.99151	11.123
21	0.02150	4.32390	10.999

Keterangan Kolom :



Kolom 1 = Nomor urut
Kolom 2 = Regangan Beton
Kolom 3 = Rasio perbandingan regangan beton
Kolom 4 = Kuat tekan beton
Baris 1-11 adalah kurva naik
Baris 12-21 adalah kurva turun



ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON KLP-1

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)	A _g (mm ²)	f' _c (MPa)	ε _{c1}	ε _{c2}	ε _c rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.000	0.000	0.000	260	22500	0.00	0.000000	0.000000	0.000000
1.000	0.010	0.000	260	22500	0.44	0.00038	0.000000	0.00019
3.000	0.010	0.005	260	22500	1.33	0.00038	0.00019	0.00029
5.000	0.010	0.010	260	22500	2.22	0.00038	0.00038	0.00038
7.000	0.015	0.015	260	22500	3.11	0.00058	0.00058	0.00058
9.000	0.010	0.025	260	22500	4.00	0.00038	0.00096	0.00067
11.000	0.010	0.035	260	22500	4.89	0.00038	0.00135	0.00087
13.000	0.020	0.050	260	22500	5.78	0.00077	0.00192	0.00135
15.000	0.020	0.080	260	22500	6.67	0.00077	0.00308	0.00192
17.000	0.020	0.070	260	22500	7.56	0.00077	0.00269	0.00173
19.000	0.030	0.080	260	22500	8.44	0.00115	0.00308	0.00212
21.000	0.100	0.110	260	22500	9.33	0.00385	0.00423	0.00404
20.000	0.200	0.150	260	22500	8.89	0.00769	0.00577	0.00673
19.000	0.380	0.100	260	22500	8.44	0.01462	0.00385	0.00923
18.000	0.430	0.110	260	22500	8.00	0.01654	0.00423	0.01038
17.000	0.480	0.120	260	22500	7.56	0.01846	0.00462	0.01154
16.000	0.530	0.170	260	22500	7.11	0.02038	0.00654	0.01346
15.000	0.580	0.220	260	22500	6.67	0.02231	0.00846	0.01538
14.000	0.630	0.270	260	22500	6.22	0.02423	0.01038	0.01731
13.000	0.680	0.320	260	22500	5.78	0.02615	0.01231	0.01923
12.000	0.730	0.370	260	22500	5.33	0.02808	0.01423	0.02115

Keterangan Kolom :

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 = Beban Aksial | 6 = Kuat Tekan Beton |
| 2 = Displacement pada DIAL 1 | 7 = Regangan beton pada DIAL1 |
| 3 = Displacement pada DIAL 2 | 8 = Regangan beton pada DIAL 2 |
| 4 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan | 9 = Regangan beton rata-rata |
| 5 = Luas penampang beton | |

Baris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak

Baris Yang Berwarna Hijau adalah Pada Saat Beban Puncak

Baris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON KLP-2

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)	A _g (mm ²)	f' _c (MPa)	ε _{c1}	ε _{c2}	ε _c rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.000	0.000	0.000	260	20727	0.00	0.00000	0.00000	0.00000
1.000	0.010	0.005	260	20727	0.48	0.00038	0.00019	0.00029
3.000	0.030	0.010	260	20727	1.45	0.00115	0.00038	0.00077
5.000	0.040	0.020	260	20727	2.41	0.00154	0.00077	0.00115
7.000	0.050	0.030	260	20727	3.38	0.00192	0.00115	0.00154
9.000	0.070	0.040	260	20727	4.34	0.00269	0.00154	0.00212
11.000	0.080	0.050	260	20727	5.31	0.00308	0.00192	0.00250
13.000	0.090	0.060	260	20727	6.27	0.00346	0.00231	0.00288
15.000	0.100	0.065	260	20727	7.24	0.00385	0.00250	0.00317
17.000	0.110	0.075	260	20727	8.20	0.00423	0.00288	0.00356
19.000	0.120	0.080	260	20727	9.17	0.00462	0.00308	0.00385
18.000	0.300	0.010	260	20727	8.68	0.01154	0.00038	0.00596
17.000	0.350	0.020	260	20727	8.20	0.01346	0.00077	0.00712
16.000	0.400	0.030	260	20727	7.72	0.01538	0.00115	0.00827
15.000	0.450	0.040	260	20727	7.24	0.01731	0.00154	0.00942
14.000	0.500	0.050	260	20727	6.75	0.01923	0.00192	0.01058
13.000	0.550	0.070	260	20727	6.27	0.02115	0.00269	0.01192
12.000	0.600	0.120	260	20727	5.79	0.02308	0.00462	0.01385
11.000	0.650	0.130	260	20727	5.31	0.02500	0.00500	0.01500
10.000	0.700	0.140	260	20727	4.82	0.02692	0.00538	0.01615
9.000	0.750	0.180	260	20727	4.34	0.02885	0.00692	0.01788
8.000	0.800	0.190	260	20727	3.86	0.03077	0.00731	0.01904

Keterangan Kolom :

1 = Beban Aksial

2 = Displacement pada DIAL 1

3 = Displacement pada DIAL 2

4 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan

5 = Luas penampang beton

6 = Kuat Tekan Beton

7 = Regangan beton pada DIAL1

8 = Regangan beton pada DIAL 2

9 = Regangan beton rata-rata

Baris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak

Baris Yang Berwarna Hijau adalah Pada Saat Beban Puncak

Baris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON KLP-3

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)	A _g (mm ²)	f' _c (MPa)	ε _{c1}	ε _{c2}	ε _c rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9

0.000	0.000	0.000	260	20727	0.00	0.00000	0.00000	0.00000
1.000	0.000	0.010	260	20727	0.48	0.00000	0.00038	0.00019
3.000	0.010	0.015	260	20727	1.45	0.00038	0.00058	0.00048
5.000	0.020	0.025	260	20727	2.41	0.00077	0.00096	0.00087
7.000	0.030	0.040	260	20727	3.38	0.00115	0.00154	0.00135
9.000	0.040	0.055	260	20727	4.34	0.00154	0.00212	0.00183
11.000	0.045	0.060	260	20727	5.31	0.00173	0.00231	0.00202
13.000	0.050	0.065	260	20727	6.27	0.00192	0.00250	0.00221
15.000	0.060	0.070	260	20727	7.24	0.00231	0.00269	0.00250
17.000	0.075	0.080	260	20727	8.20	0.00288	0.00308	0.00298
19.000	0.080	0.085	260	20727	9.17	0.00308	0.00327	0.00317
21.000	0.085	0.090	260	20727	10.13	0.00327	0.00346	0.00337
23.000	0.090	0.100	260	20727	11.10	0.00346	0.00385	0.00365
25.000	0.120	0.130	260	20727	12.06	0.00462	0.00500	0.00481
24.000	0.300	0.200	260	20727	11.58	0.01154	0.00769	0.00962
23.000	0.400	0.300	260	20727	11.10	0.01538	0.01154	0.01346
22.000	0.500	0.400	260	20727	10.61	0.01923	0.01538	0.01731
21.000	0.600	0.450	260	20727	10.13	0.02308	0.01731	0.02019
20.000	0.700	0.500	260	20727	9.65	0.02692	0.01923	0.02308
19.000	0.750	0.550	260	20727	9.17	0.02885	0.02115	0.02500
18.000	0.800	0.600	260	20727	8.68	0.03077	0.02308	0.02692

Keterangan Kolom :

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 = Beban Aksial | 6 = Kuat Tekan Beton |
| 2 = Displacement pada DIAL 1 | 7 = Regangan beton pada DIAL1 |
| 3 = Displacement pada DIAL 2 | 8 = Regangan beton pada DIAL 2 |
| 4 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan | 9 = Regangan beton rata-rata |
| 5 = Luas penampang beton | |

Baris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak

Baris Yang Berwarna Hijau adalah Pada Saat Beban Puncak

Baris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON KLP-4

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)	A _g (mm ²)	f' _c (MPa)	ε _{c1}	ε _{c2}	ε _c rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.000	0.000	0.000	260	20727	0.00	0.00000	0.00000	0.00000
1.000	0.000	0.010	260	20727	0.48	0.00000	0.00038	0.00019
3.000	0.000	0.020	260	20727	1.45	0.00000	0.00077	0.00038
5.000	0.010	0.030	260	20727	2.41	0.00038	0.00115	0.00077
7.000	0.010	0.045	260	20727	3.38	0.00038	0.00173	0.00106
9.000	0.010	0.060	260	20727	4.34	0.00038	0.00231	0.00135
11.000	0.030	0.070	260	20727	5.31	0.00115	0.00269	0.00192
13.000	0.050	0.085	260	20727	6.27	0.00192	0.00327	0.00260

15.000	0.060	0.090	260	20727	7.24	0.00231	0.00346	0.00288
17.000	0.070	0.100	260	20727	8.20	0.00269	0.00385	0.00327
19.000	0.080	0.110	260	20727	9.17	0.00308	0.00423	0.00365
21.000	0.090	0.130	260	20727	10.13	0.00346	0.00500	0.00423
23.000	0.100	0.140	260	20727	11.10	0.00385	0.00538	0.00462
24.000	0.120	0.150	260	20727	11.58	0.00462	0.00577	0.00519
23.000	0.250	0.250	260	20727	11.10	0.00962	0.00962	0.00962
22.000	0.500	0.400	260	20727	10.61	0.01923	0.01538	0.01731
21.000	0.650	0.600	260	20727	10.13	0.02500	0.02308	0.02404
20.000	0.700	0.800	260	20727	9.65	0.02692	0.03077	0.02885

Keterangan Kolom :

1 = Beban Aksial

2 = Displacement pada DIAL 1

3 = Displacement pada DIAL 2

4 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan

5 = Luas penampang beton

6 = Kuat Tekan Beton

7 = Regangan beton pada DIAL1

8 = Regangan beton pada DIAL 2

9 = Regangan beton rata-rata

Baris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak

Baris Yang Berwarna Hijau adalah Pada Saat Beban Puncak

Baris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON KLP-5

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)	A _g (mm ²)	f' _c (MPa)	ε _{c1}	ε _{c2}	ε _c rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.000	0.000	0.000	260	20727	0.00	0.00000	0.00000	0.00000
1.000	0.020	0.010	260	20727	0.48	0.00077	0.00038	0.00058
3.000	0.040	0.015	260	20727	1.45	0.00154	0.00058	0.00106
5.000	0.050	0.015	260	20727	2.41	0.00192	0.00058	0.00125
7.000	0.060	0.020	260	20727	3.38	0.00231	0.00077	0.00154
9.000	0.080	0.030	260	20727	4.34	0.00308	0.00115	0.00212
11.000	0.090	0.050	260	20727	5.31	0.00346	0.00192	0.00269
13.000	0.090	0.060	260	20727	6.27	0.00346	0.00231	0.00288
15.000	0.110	0.070	260	20727	7.24	0.00423	0.00269	0.00346
17.000	0.125	0.090	260	20727	8.20	0.00481	0.00346	0.00413
19.000	0.130	0.100	260	20727	9.17	0.00500	0.00385	0.00442
21.000	0.140	0.110	260	20727	10.13	0.00538	0.00423	0.00481
23.500	0.150	0.130	260	20727	11.34	0.00577	0.00500	0.00538
22.500	0.250	0.250	260	20727	10.86	0.00962	0.00962	0.00962
21.500	0.350	0.550	260	20727	10.37	0.01346	0.02115	0.01731
20.500	0.600	0.610	260	20727	9.89	0.02308	0.02346	0.02327
19.500	0.800	0.690	260	20727	9.41	0.03077	0.02654	0.02865

Keterangan Kolom :

- 1 = Beban Aksial
 2 = Displacement pada DIAL 1
 3 = Displacement pada DIAL 2
 4 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan
 5 = Luas penampang beton
 6 = Kuat Tekan Beton
 7 = Regangan beton pada DIAL1
 8 = Regangan beton pada DIAL 2
 9 = Regangan beton rata-rata

Baris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak

Baris Yang Berwarna Hijau adalah Pada Saat Beban Puncak

Baris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON KLP-6

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)	A _g (mm ²)	f' _c (Mpa)	ε _{c1}	ε _{c2}	ε _c rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.000	0.000	0.000	260	20727	0.00	0.00000	0.00000	0.00000
1.000	0.010	0.000	260	20727	0.48	0.00038	0.00000	0.00019
3.000	0.020	0.000	260	20727	1.45	0.00077	0.00000	0.00038
5.000	0.030	0.010	260	20727	2.41	0.00115	0.00038	0.00077
7.000	0.040	0.020	260	20727	3.38	0.00154	0.00077	0.00115
9.000	0.050	0.030	260	20727	4.34	0.00192	0.00115	0.00154
11.000	0.060	0.040	260	20727	5.31	0.00231	0.00154	0.00192
13.000	0.080	0.050	260	20727	6.27	0.00308	0.00192	0.00250
15.000	0.090	0.070	260	20727	7.24	0.00346	0.00269	0.00308
17.000	0.100	0.080	260	20727	8.20	0.00385	0.00308	0.00346
19.000	0.110	0.090	260	20727	9.17	0.00423	0.00346	0.00385
21.000	0.120	0.100	260	20727	10.13	0.00462	0.00385	0.00423
23.000	0.140	0.120	260	20727	11.10	0.00538	0.00462	0.00500
22.500	0.350	0.170	260	20727	10.86	0.01346	0.00654	0.01000
21.500	0.430	0.230	260	20727	10.37	0.01654	0.00885	0.01269
21.000	0.490	0.290	260	20727	10.13	0.01885	0.01115	0.01500
20.500	0.540	0.370	260	20727	9.89	0.02077	0.01423	0.01750
20.000	0.570	0.390	260	20727	9.65	0.02192	0.01500	0.01846
19.500	0.600	0.440	260	20727	9.41	0.02308	0.01692	0.02000
19.000	0.630	0.490	260	20727	9.17	0.02423	0.01885	0.02154
18.500	0.660	0.540	260	20727	8.93	0.02538	0.02077	0.02308
18.000	0.690	0.610	260	20727	8.68	0.02654	0.02346	0.02500
17.500	0.730	0.660	260	20727	8.44	0.02808	0.02538	0.02673

Keterangan Kolom :

- 1 = Beban Aksial
 2 = Displacement pada DIAL 1
 3 = Displacement pada DIAL 2
 4 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan
 5 = Luas penampang beton
 6 = Kuat Tekan Beton
 7 = Regangan beton pada DIAL1
 8 = Regangan beton pada DIAL 2
 9 = Regangan beton rata-rata

Baris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak

Baris Yang Berwarna Hijau adalah Pada Saat Beban Puncak

Baris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

ANALISA EKSPERIMENTAL KOLOM BETON KLP-7

P (ton)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	L (mm)	A _g (mm ²)	f _c (Mpa)	ε _{c1}	ε _{c2}	ε _c rata-rata
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.000	0.000	0.000	260	20727	0.00	0.00000	0.00000	0.00000
1.000	0.000	0.010	260	20727	0.48	0.00000	0.00038	0.00019
3.000	0.000	0.030	260	20727	1.45	0.00000	0.00115	0.00058
5.000	0.000	0.040	260	20727	2.41	0.00000	0.00154	0.00077
7.000	0.000	0.050	260	20727	3.38	0.00000	0.00192	0.00096
9.000	0.000	0.070	260	20727	4.34	0.00000	0.00269	0.00135
11.000	0.020	0.080	260	20727	5.31	0.00077	0.00308	0.00192
13.000	0.030	0.100	260	20727	6.27	0.00115	0.00385	0.00250
15.000	0.050	0.110	260	20727	7.24	0.00192	0.00423	0.00308
17.000	0.080	0.120	260	20727	8.20	0.00308	0.00462	0.00385
19.000	0.090	0.130	260	20727	9.17	0.00346	0.00500	0.00423
21.000	0.110	0.140	260	20727	10.13	0.00423	0.00538	0.00481
22.500	0.120	0.150	260	20727	10.86	0.00462	0.00577	0.00519
21.500	0.270	0.180	260	20727	10.37	0.01038	0.00692	0.00865
20.500	0.370	0.190	260	20727	9.89	0.01423	0.00731	0.01077
19.500	0.470	0.200	260	20727	9.41	0.01808	0.00769	0.01288
18.500	0.620	0.220	260	20727	8.93	0.02385	0.00846	0.01615
17.500	0.770	0.230	260	20727	8.44	0.02962	0.00885	0.01923
16.500	0.920	0.240	260	20727	7.96	0.03538	0.00923	0.02231
15.500	0.990	0.250	260	20727	7.48	0.03808	0.00962	0.02385
14.500	1.090	0.260	260	20727	7.00	0.04192	0.01000	0.02596
13.500	1.140	0.290	260	20727	6.51	0.04385	0.01115	0.02750

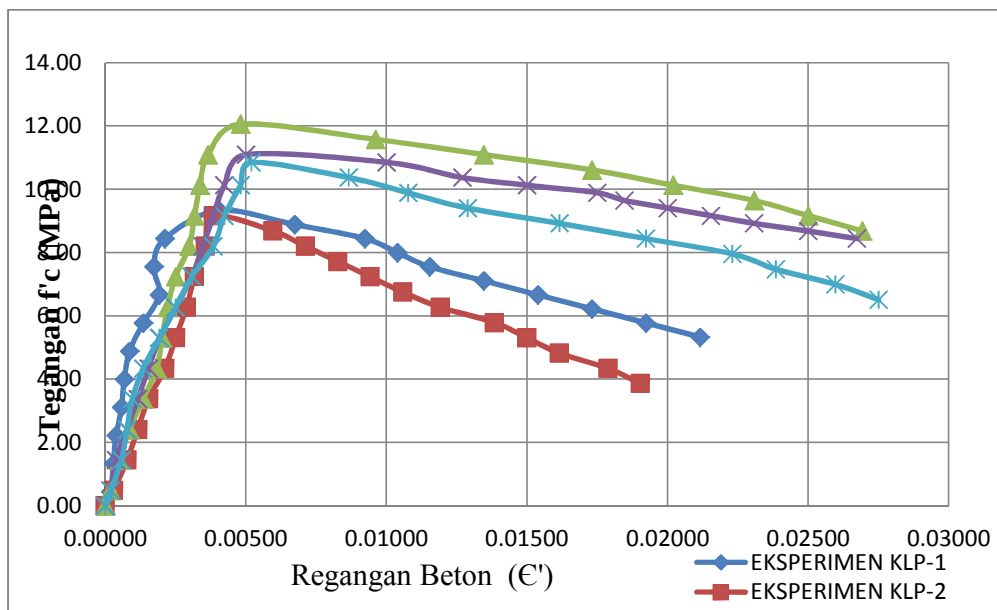
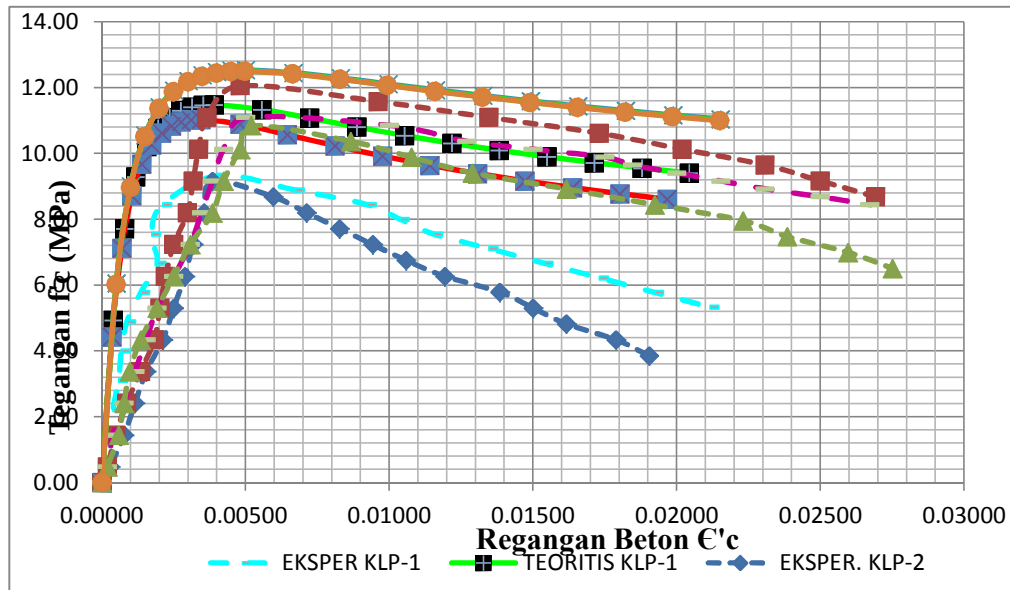
Keterangan Kolom :

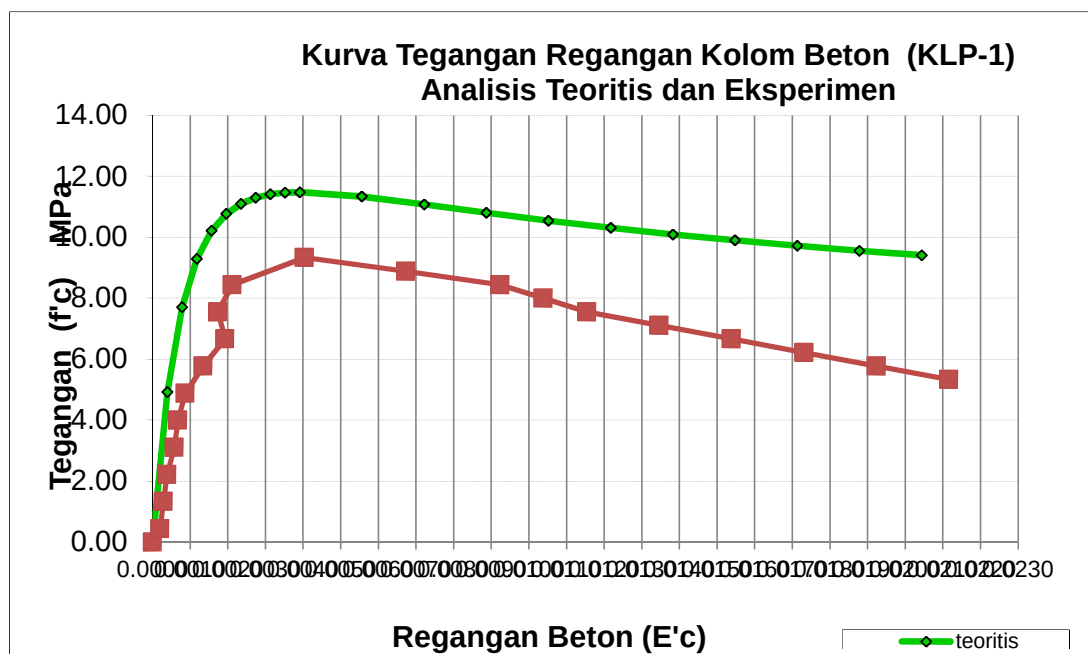
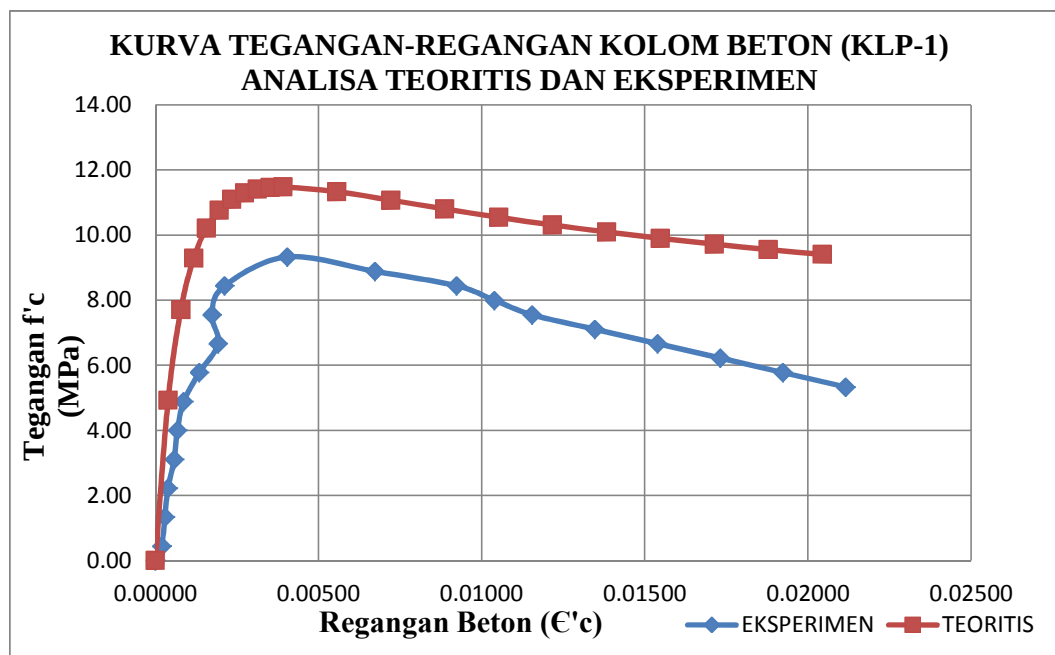
- 1 = Beban Aksial
 2 = Displacement pada DIAL 1
 3 = Displacement pada DIAL 2
 4 = Tinggi mula-mula untuk pengukuran regangan
 5 = Luas penampang beton
 6 = Kuat Tekan Beton
 7 = Regangan beton pada DIAL1
 8 = Regangan beton pada DIAL 2
 9 = Regangan beton rata-rata

Baris Yang Berwarna Biru adalah Pada Saat Terjadi Awal Retak

Baris Yang Berwarna Hijau adalah Pada Saat Beban Puncak

Baris Yang Berwarna Merah adalah Pada Saat Hancurnya Kolom

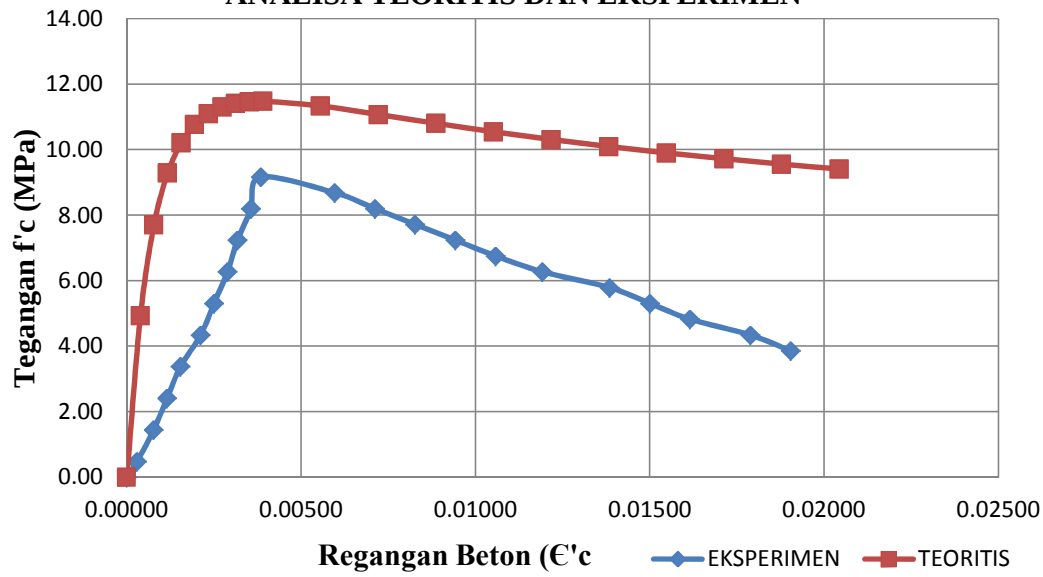




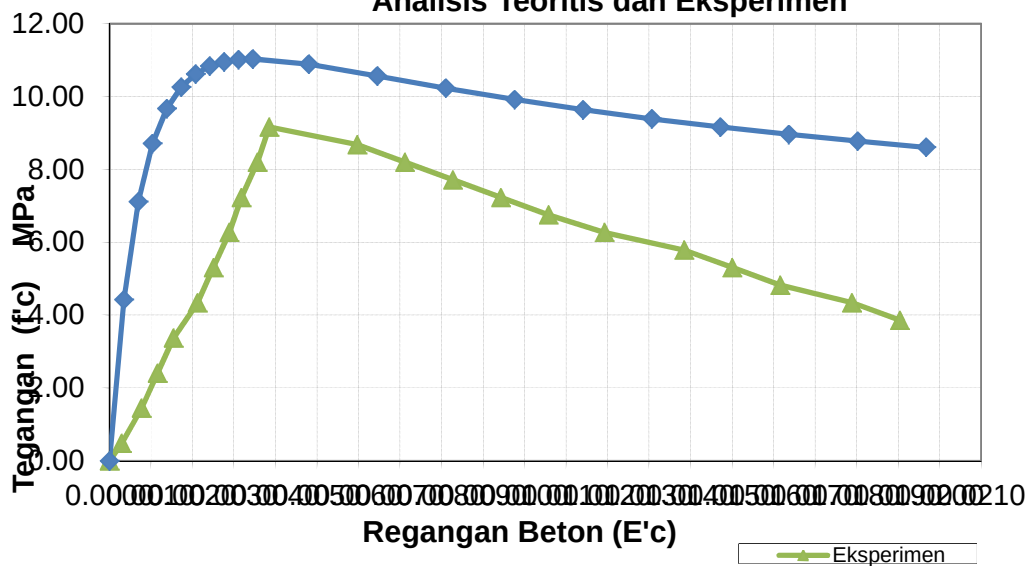
KURVA HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN KOLOM BETON (KLP-

2)

ANALISA TEORITIS DAN EKSPERIMEN



Kurva Tegangan Regangan Kolom Beton (KLP-2) Analisis Teoritis dan Eksperimen

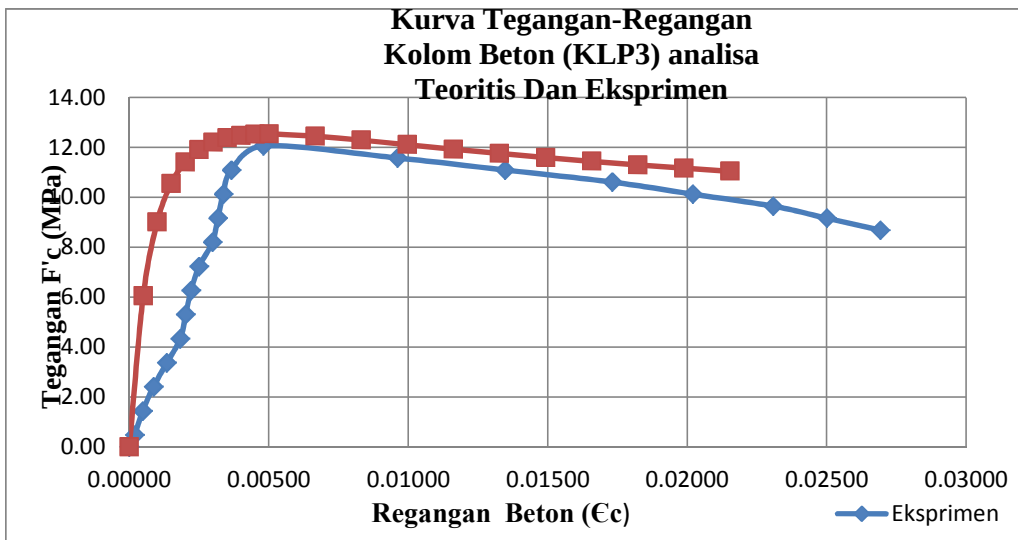
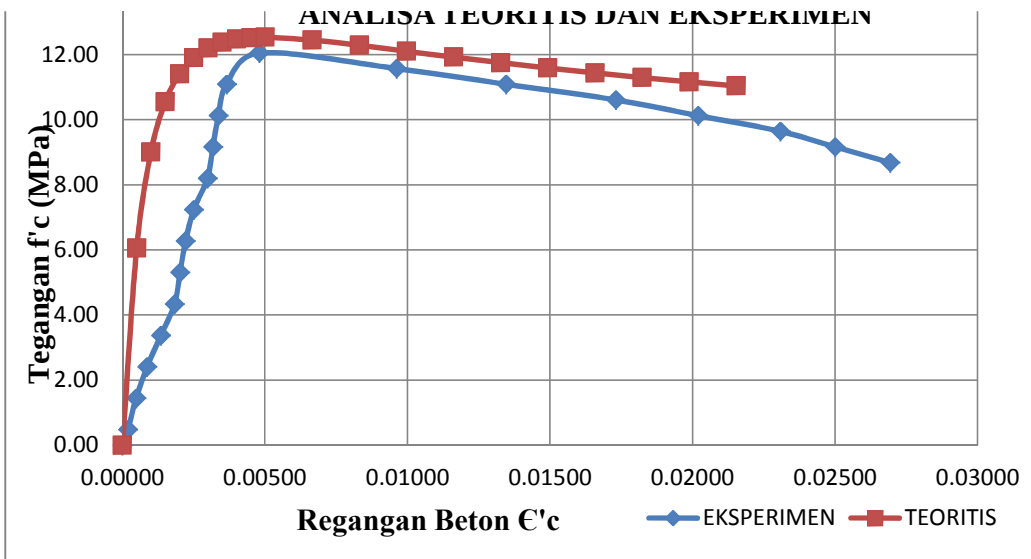


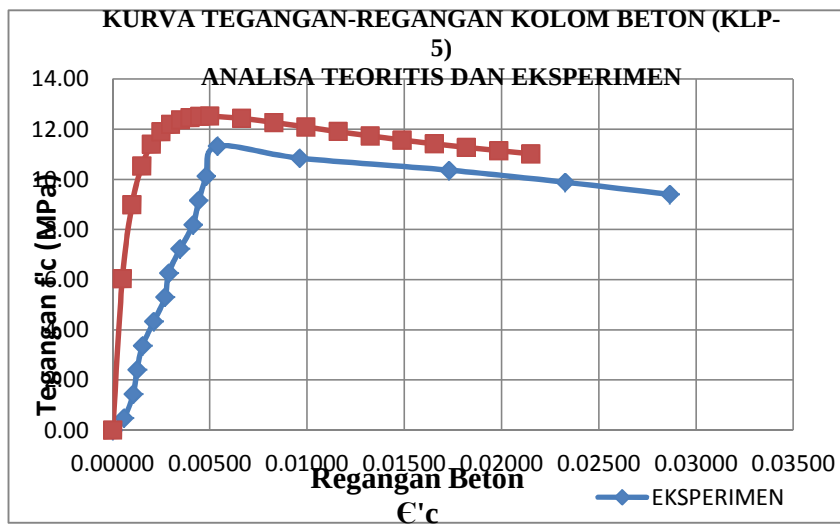
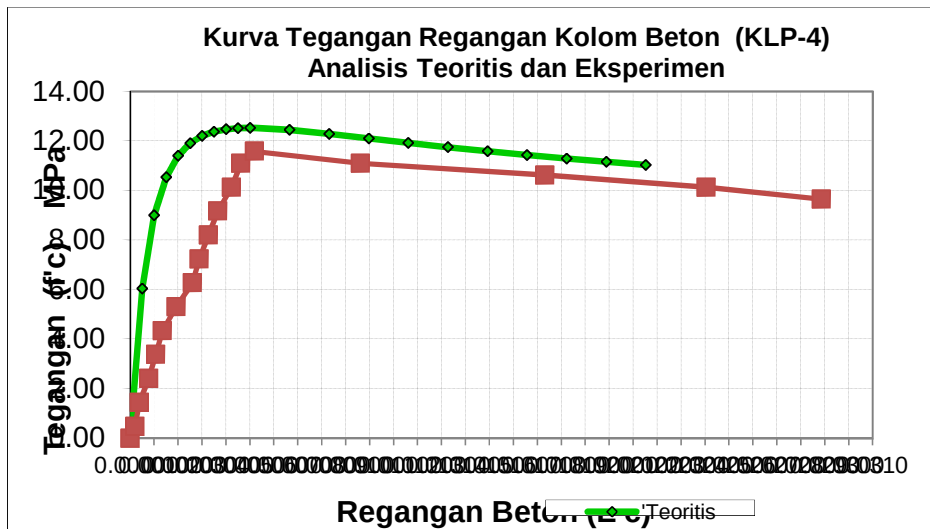
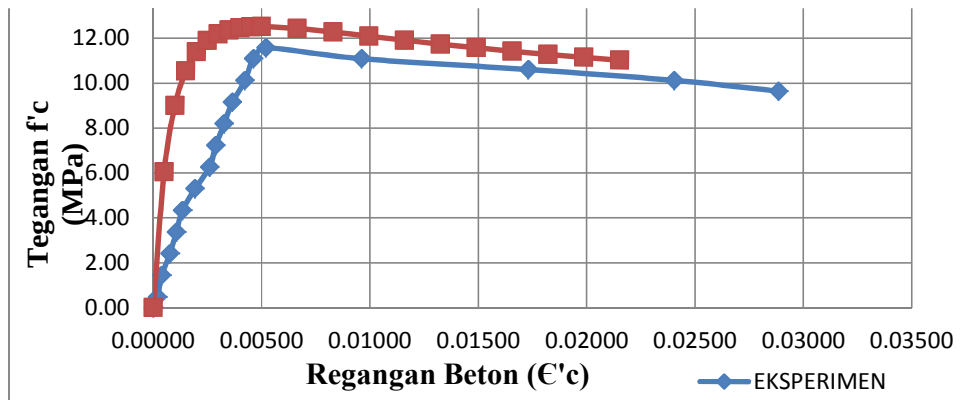
KURVA TEGANGAN-REGANGAN KOLOM BETON (KLP-3)

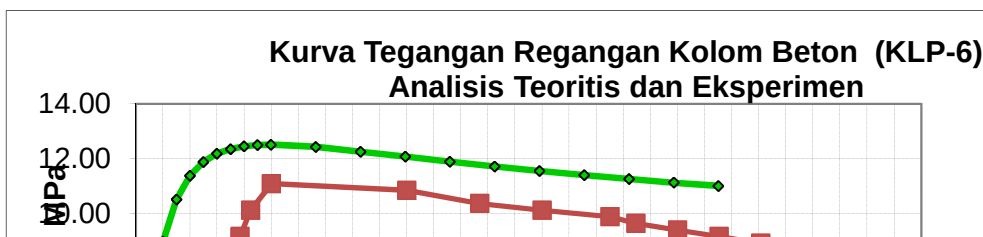
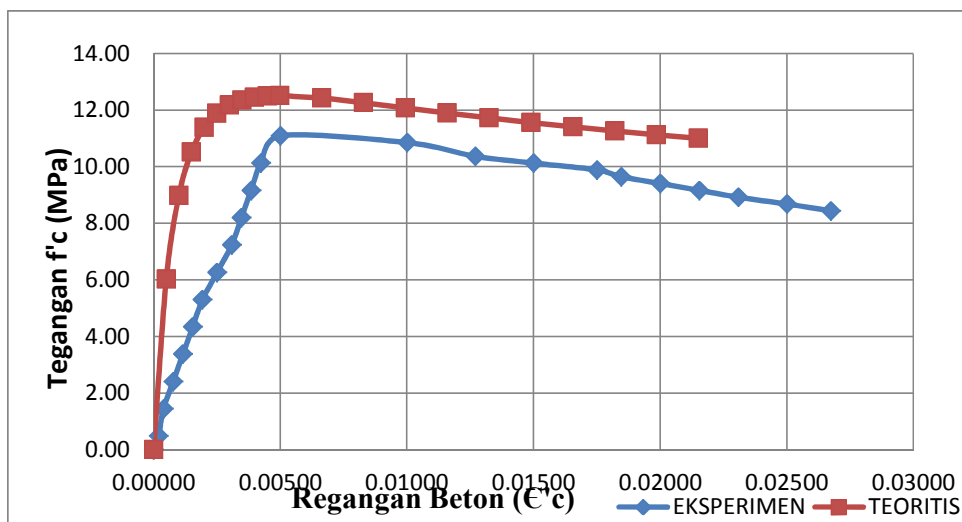
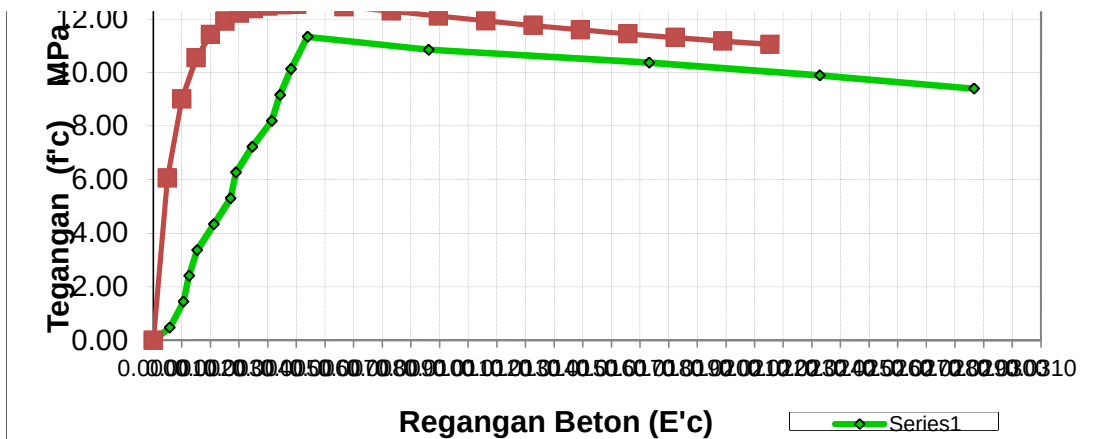
3)

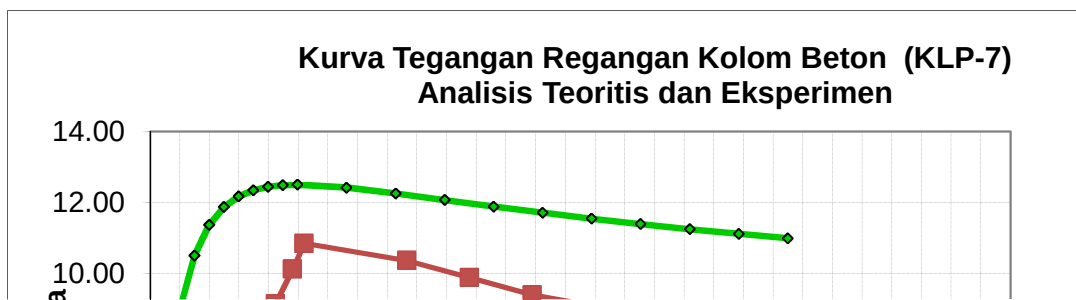
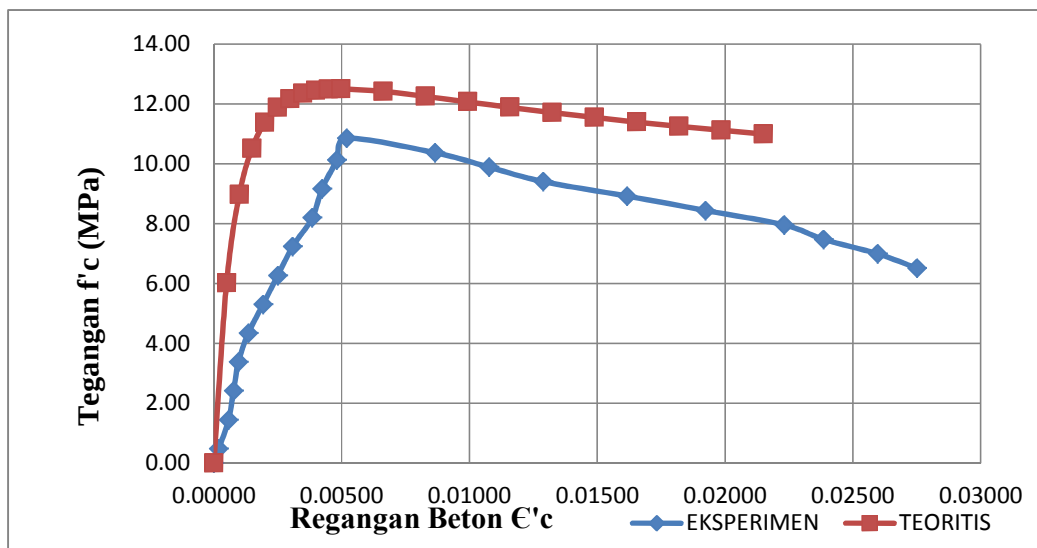
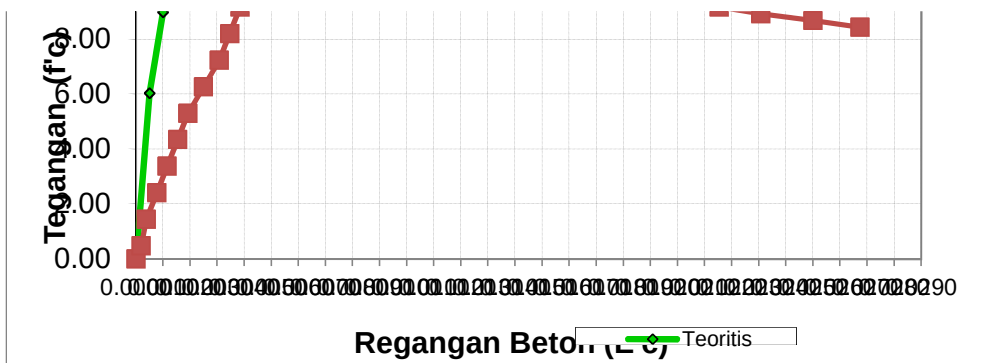
14.00

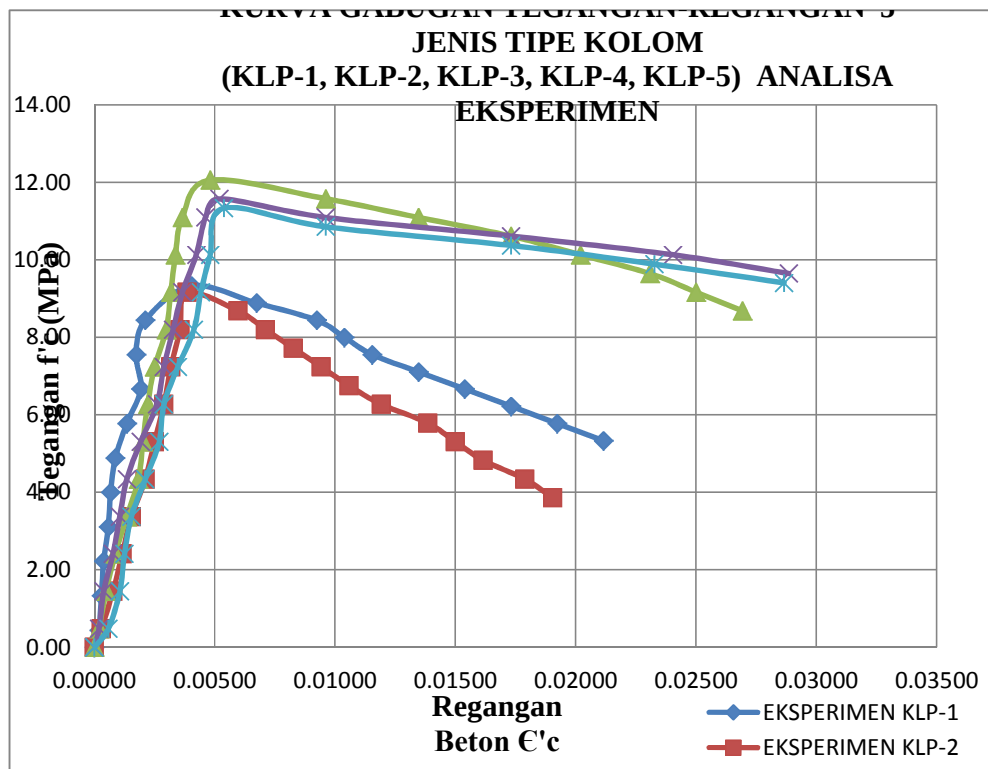
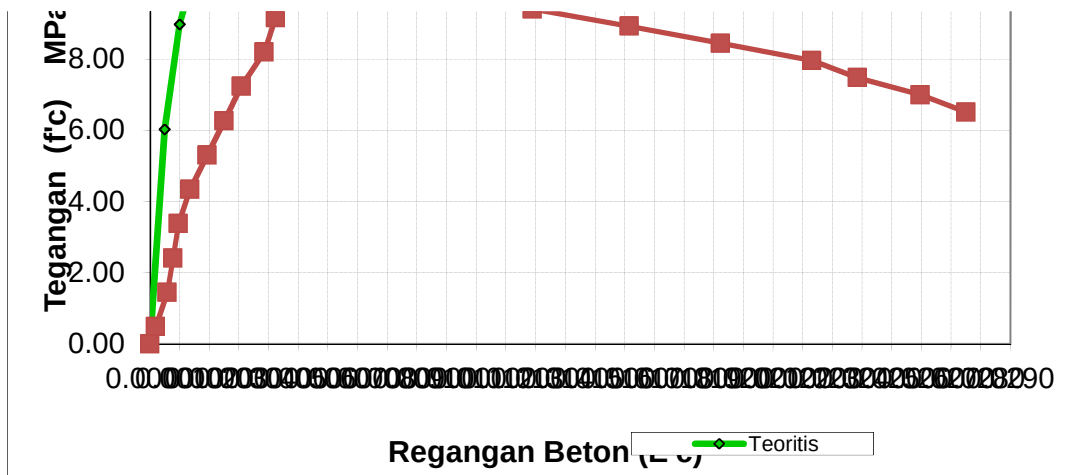
ANALISA TEORITIS DAN EKSPERIMEN











Berdasarkan SNI -1726-2002, Pasal 4.3.1 ;
 Faktor Daktilitas Bangunan adalah rasio antara Simpangan
 Maksimum Struktur akibat beban gempa rencana pada saat
 mencapai kondisi diambang Keruntuhan dan Simpangan Struktur
 gedung pada saat terjadinya Pelelehan Pertama maka , dimana

$$1,0 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m$$

, Maka :

ANALISA DAKTALITAS KOLOM TEORITIS

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Puncak ϵ'_{cc}	μ	Perbedaan (%)	Tegangan MPa
KLP1	0.02044	0.00391	5.225	100.000	11.482
KLP2	0.01695	0.00345	4.918	-5.885	11.036
KLP3	0.02768	0.00501	5.529	5.808	12.538
KLP4	0.02763	0.00500	5.528	5.790	12.530
KLP5	0.02757	0.00499	5.527	5.772	12.521

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Puncak ϵ'_{cc}	μ	Perbedaan (%)	Tegangan MPa
KLP1	0.02044	0.00391	5.225	100.000	11.482
KLP2	0.01695	0.00345	4.918	-5.885	11.036
KLP3	0.02768	0.00501	5.529	12.424	12.538
KLP4	0.02763	0.00500	5.528	100.000	12.530
KLP5	0.02757	0.00499	5.527	12.386	12.521

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Puncak ϵ'_{cc}	μ	Perbedaan (%)	Tegangan MPa
KLP1	0.02044	0.00391	5.225	100.000	11.482
KLP2	0.01695	0.00345	4.918	-5.885	11.036
KLP3	0.02768	0.00501	5.529	5.808	12.538
KLP6	0.02752	0.00498	5.526	5.754	12.513
KLP7	0.02747	0.00497	5.525	5.735	12.505

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Puncak ϵ'_{cc}	Tegangan MPa	Perbedaan (%)	Pmax Ton
KLP1	0.02044	0.00391	11.482	100.000	21.605
KLP2	0.01695	0.00345	11.036	-3.891	19.165
KLP3	0.02768	0.00501	12.538	9.194	25.411
KLP4	0.02763	0.00500	12.530	9.121	24.834
KLP5	0.02757	0.00499	12.521	9.049	24.259

Berdasarkan SNI -1726-2002, Pasal 4.3.1 ;
 Faktor Daktilitas Bangunan adalah rasio antara Simpangan Maksimum Struktur akibat beban gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang Keruntuhan dan Simpangan Struktur gedung pada saat terjadinya Pelelehan Pertama maka , dimana

$$1,0 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m$$

, Maka :

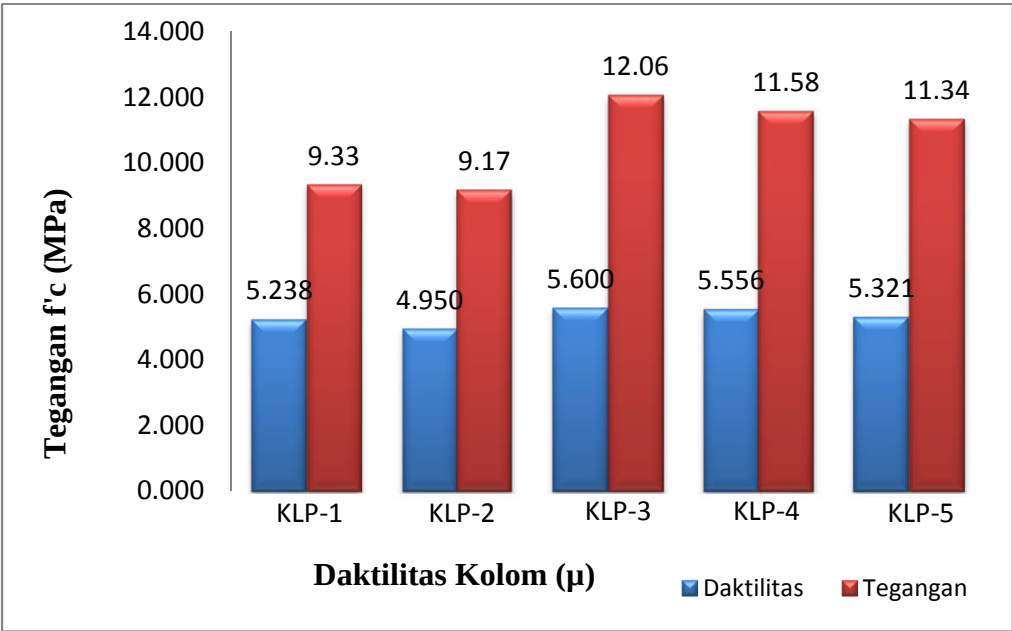
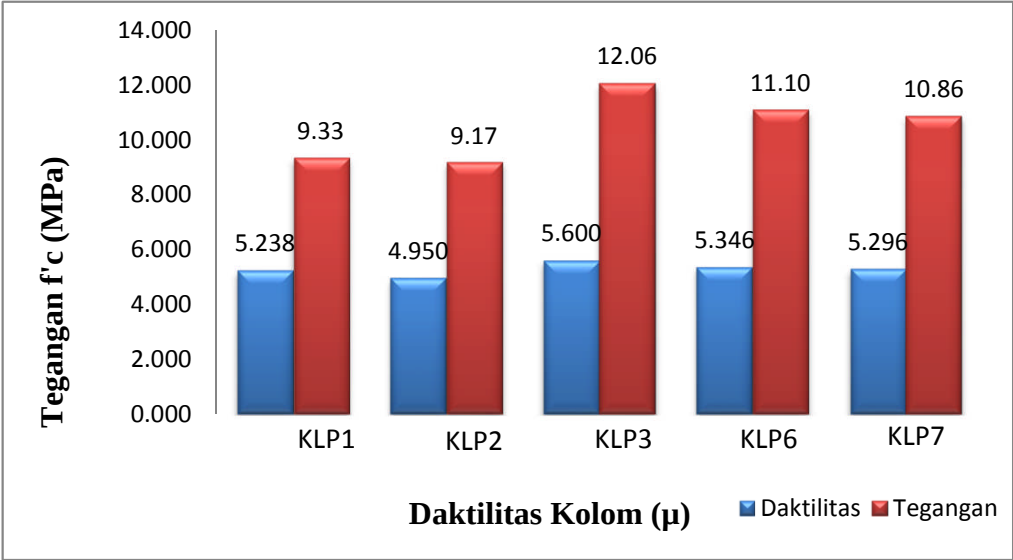
ANALISA DAKTALITAS KOLOM EKSPERIMEN

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Puncak ϵ'_{cc}	μ	Perbedaan Nilai Daktilitas (%)	Tegangan Mpa
KLP-1	0.02115	0.00404	5.238	100.000	9.33
KLP-2	0.01904	0.00385	4.950	-5.500	9.17
KLP-3	0.02692	0.00481	5.600	13.131	12.06
KLP-4	0.02885	0.00519	5.556	6.061	11.58
KLP-5	0.02865	0.00538	5.321	1.591	11.34

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Puncak ϵ'_{cc}	μ	Perbedaan Nilai Daktilitas (%)	Tegangan Mpa
KLP-1	0.02115	0.00404	5.238	100.000	9.33
KLP-2	0.01904	0.00385	4.950	-5.500	9.17
KLP-3	0.02692	0.00481	5.600	6.909	12.06
KLP-6	0.02673	0.00500	5.346	2.063	11.10
KLP-7	0.02750	0.00519	5.296	1.111	10.86

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Puncak ϵ'_{cc}	μ	Perbedaan Nilai Daktilitas (%)	Tegangan Mpa
KLP-1	0.02115	0.00404	5.238	100.000	9.33
KLP-2	0.01904	0.00385	4.950	-5.500	9.17
KLP-3	0.02692	0.00481	5.600	13.131	12.06
KLP-6	0.02673	0.00500	5.346	2.063	11.10
KLP-7	0.02750	0.00519	5.296	5.734	10.86

Tipe Kolom	Regangan Ultimit ϵ'_{cu}	Regangan Puncak ϵ'_{cc}	Daktilitas (μ)	Perbedaan Nilai Daktilitas (%)	Tegangan Mpa
KLP-1	0.02115	0.00404	5.238	100.000	9.33
KLP-2	0.01904	0.00385	4.950	-5.500	9.17
KLP-3	0.02692	0.00481	5.600	13.131	12.06
KLP-4	0.02885	0.00519	5.556	6.061	11.58
KLP-5	0.02865	0.00538	5.321	5.235	11.34

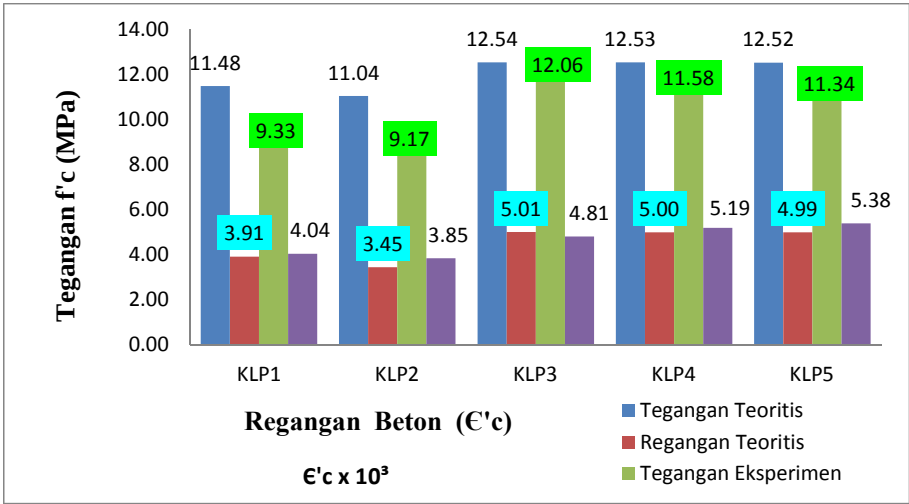
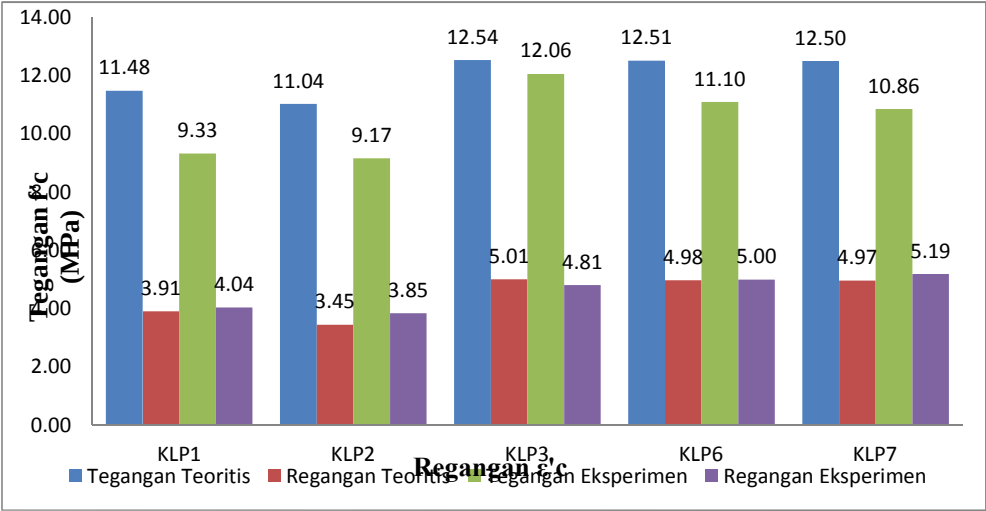


Perbandingan P, Ecc Teoritis 5 KOLOM

No.	Tipe Kolom	ρ_s	Teoritis				Perbedaan (%)				
			f'_{cc}	ε_{cc}	ε_{cu}	Pmaks (Ton)	Pmaks	f'_{cc}	ε_{cc}	ε_{cu}	ρ_s
1	KLP1	0.004	11.482	0.00391	0.02044	21.605	5.22515	100.000	100.000	100.000	100.000
2	KLP2	0.0031	11.036	0.00345	0.01695	19.165	4.91765	-4.048	96.109	88.151	75.75
3	KLP3	0.0063	12.538	0.00501	0.02768	25.411	5.52862	8.420	128.000	135.434	157.30
4	KLP4	0.0063	12.513	0.02752	0.00498	23.684	0.18097	8.237	108.976	703.631	155.94
5	KLP5	0.0063	12.505	0.02747	0.00497	23.109	0.181	8.175	108.903	702.284	155.49

Perbandingan P, Ecc Teoritis 5 KOLOM UNTUK PRESENTASI

No.	Tipe Kolom	ρ_s	Teoritis					Perbedaan (%)					
			f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	P_{maks} (Ton)	μ	P_{maks}	f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	μ	ρ_s
1	KLP1	0.004	11.48	0.00391	0.02044	21.60	5.22515	88.705	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	KLP2	0.0031	11.04	0.00345	0.01695	19.16	4.91765	100.00	-4.05	-13.44	-20.54	-12.73	-24.25
3	KLP3	0.0063	12.54	0.00501	0.02768	25.41	5.52862	107.292	8.42	21.88	26.16	14.98	-51.84
4	KLP6	0.0063	12.51	0.02752	0.00498	23.68	5.5258	102.485	8.24	85.79	-310.34	8.78	0.87
5	KLP7	0.0063	12.50	0.02747	0.00497	23.11	5.52483	90.944	8.18	85.76	-311.06	6.51	-1.17



$\epsilon'c \times 10^3$

Perbandingan f'cc, Ɛ'cc, Ɛ'cu Teoritis 5 KOLOM UNTUK PRESENTASI

No.	Tipe Kolom	Teoritis			Eksperimen			Perbedaan (%)		
		f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}
1	KLP1	11.48	0.00391	0.02044	9.33	0.00404	0.02115	-18.72	3.26	3.51
2	KLP2	11.04	0.00345	0.01695	9.17	0.00385	0.01904	-16.94	11.56	12.29
3	KLP3	12.54	0.00501	0.02768	12.06	0.00481	0.02692	-3.80	-3.97	-2.73
4	KLP6	12.51	0.00498	0.02752	11.10	0.00500	0.02673	-11.32	0.40	-2.87
5	KLP7	12.50	0.00497	0.02747	10.86	0.00519	0.02750	-13.19	4.44	0.12

No.	Tipe Kolom	Teoritis			Eksperimen			Perbedaan (%)		
		f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	f'_{cc}	ϵ_{cc}		f'_{cc}	ϵ_{cc}	
1	KLP1	11.48	3.91	0.02044	9.33	4.04		-18.72	3.26	
2	KLP2	11.04	3.45	0.01695	9.17	3.85		-16.94	11.56	
3	KLP3	12.54	5.01	0.02768	12.06	4.81		-3.80	-3.97	
4	KLP6	12.51	4.98	0.02752	11.10	5.00		-11.32	0.40	
5	KLP7	12.50	4.97	0.02747	10.86	5.19		-13.19	4.44	

No.	Tipe Kolom	Teoritis			Eksperimen			Perbedaan (%)		
		f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}
1	KLP1	11.48	0.00391	0.02044	9.33	0.00404	0.02115	-18.72	3.26	3.51
2	KLP2	11.04	0.00345	0.01695	9.17	0.00385	0.01904	-16.94	11.56	12.29
3	KLP3	12.54	0.00501	0.02768	12.06	0.00481	0.02692	-3.80	-3.97	-2.73
4	KLP4	12.53	0.00500	0.02763	11.58	0.00519	0.02885	-7.59	3.90	4.42
5	KLP5	12.52	0.00499	0.02757	11.34	0.00538	0.02865	-9.45	7.93	3.92

Tipe Kolom	f'_{cc}
KLP1	10.41
KLP2	10.10
KLP3	12.30
KLP6	11.80
KLP7	11.68

No.	Tipe Kolom	Teoritis			Eksperimen			Perbedaan (%)		
		f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	f'_{cc}	ϵ_{cc}		f'_{cc}	ϵ_{cc}	
1	KLP1	11.48	3.91	0.02044	9.33	4.04		-18.72	3.26	
2	KLP2	11.04	3.45	0.01695	9.17	3.85		-16.94	11.56	
3	KLP3	12.54	5.01	0.02768	12.06	4.81		-3.80	-3.97	
4	KLP4	12.53	5.00	0.02763	11.58	5.19		-7.59	3.90	
5	KLP5	12.52	4.99	0.02757	11.34	5.38		-9.45	7.93	

Tipe Kolom	f'_{cc}
KLP1	10.41
KLP2	10.10
KLP3	12.30
KLP4	12.05
KLP5	11.93

Rata -Rata			Perbedaan (%)			
ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	μ	f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	μ
0.00397	0.02080	5.232	100.00	100.00	100.00	100.00
0.00365	0.01800	4.934	-2.95	-8.25	-13.46	-5.69
0.00491	0.02730	5.564	18.18	23.45	31.28	6.36
0.00499	0.02713	5.436	13.42	25.54	30.44	3.91
0.00508	0.02748	5.411	12.22	27.85	32.16	3.42

Rata -Rata			Perbedaan (%)			
ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	μ	f'_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}	μ
0.00397	0.02080	5.232	100.00	100.00	100.00	100.00
0.00365	0.01800	4.934	-2.95	-8.25	-13.46	-5.69
0.00491	0.02730	5.564	18.18	23.45	31.28	6.36
0.00509	0.02824	5.542	13.82	28.18	35.78	5.93
0.00519	0.02811	5.424	14.62	30.49	35.19	3.68

Hasil Pengujian Tarik Tulangan Baja

No	Specimen	Diameter ($\varnothing$)	Luas	Tegangan Leleh	Tegangan Tarik
		mm	mm ²	(Mpa)	(Mpa)
1	BJTP	4.7	17.35	223.12	390.955
2	BJTP	5.6	24.63	342.979	445.833
3	BJTU	9.05	64.33	356.192	494.677

Elongation
(%)
51.822
73.067
108.978

Perbedaan Daktilitas Teoritis dan Eksperimen

Tipe	Faktor Daktilitas (μ)		Perbedaan	Tegangan
	Toritis	Eksperimen		
Kolom			(%)	%
KLP-1	5.225	5.238	0.248	-18.72
KLP-2	4.918	4.950	0.658	-16.94
KLP-3	5.529	5.600	1.291	-3.80
KLP-6	5.526	5.346	-3.251	-11.32
KLP-7	5.525	5.296	-4.136	-13.19

Tipe	Faktor Daktilitas (μ)		Perbedaan	Tegangan
	Toritis	Eksperimen		
Kolom			(%)	%
KLP-1	5.225	5.238	0.248	-18.72
KLP-2	4.918	4.950	0.658	-16.94
KLP-3	5.529	5.600	1.291	-3.80
KLP-4	5.528	5.556	0.504	-7.59
KLP-5	5.527	5.321	-3.715	-9.45

Tipe	Faktor Daktilitas (μ)		Perbedaan			
	Toritis	Eksperimen	μ Teoritis (%)	μ Eksperimen (%)	f _{cc} Teoritis (%)	f _{cc} Eksperimen (%)
KLP-1	5.225	5.238	100.000	100.000	100.000	100.000
KLP-2	4.918	4.950	-5.885	-5.500	-3.891	-1.786
KLP-3	5.529	5.600	12.424	13.131	13.615	31.579
KLP-4	5.529	5.556	5.808	6.061	9.121	24.060
KLP-5	5.526	5.321	12.367	7.504	13.463	23.684

Hasil Rata-Rata Tegangan dan Daktilitas 5 Jenis Kolom

Tipe	Faktor Daktilitas	Perbedaan	Tegangan
	(μ)	(%)	Mpa
Kolom			
KLP-1	5.232	100.000	10.408
KLP-2	4.934	-5.692	10.101
KLP-3	5.564	6.359	12.300
KLP-6	5.346	2.189	11.805
KLP-7	5.296	1.236	11.680

Tipe	Faktor Daktilitas	Perbedaan	Tegangan
	(μ)	(%)	Mpa
Kolom			
KLP-1	5.238	100.000	-18.716
KLP-2	4.950	-5.500	-16.935
KLP-3	5.600	13.131	-3.801
KLP-4	5.556	6.061	-7.587
KLP-5	5.321	-4.974	-9.452

No.	Tipe Kolom	Teoritis				Eksperimen			Perbedaan (%)			
		ρ_s	f'_{cc}	ε_{cc}	ε_{cu}	f'_{cc}	ε_{cc}	ε_{cu}	f'_{cc}	ε_{cc}	ε_{cu}	ρ_s
1	KLP1	0.00403	11.48	0.00391	0.02044	9.33	0.00404	0.02115	-18.72	3.26	3.51	100.00
2	KLP2	0.00305	11.04	0.00345	0.01695	9.17	0.00385	0.01904	-16.94	11.56	12.29	-24.25
3	KLP3	0.00634	12.54	0.00501	0.02768	12.06	0.00481	0.02692	-3.80	-3.97	-2.73	57.30
4	KLP4	0.00632	12.53	0.00500	0.02763	11.10	0.00519	0.02885	-11.44	3.90	4.42	56.85
5	KLP5	0.00630	12.52	0.00499	0.02757	10.86	0.00538	0.02865	-13.31	7.93	3.92	56.40

No.	Tipe Kolom	Teoritis				Eksperimen			Perbedaan (%)			
		ρ_s	f'_{cc}	ε_{cc}	ε_{cu}	f'_{cc}	ε_{cc}	ε_{cu}	f'_{cc}	ε_{cc}	ε_{cu}	ρ_s
1	KLP1	0.00403	11.48	0.00391	0.02044	9.33	0.00404	0.02115	-18.72	3.26	3.51	100.00
2	KLP2	0.00305	11.04	0.00345	0.01695	9.17	0.00385	0.01904	-16.94	11.56	12.29	-24.25
3	KLP3	0.00634	12.54	0.00501	0.02768	12.06	0.00481	0.02692	-3.80	-3.97	-2.73	57.30
4	KLP6	0.00628	12.51	0.00498	0.02752	11.10	0.00500	0.02673	-11.32	0.40	-2.87	55.94
5	KLP7	0.00626	12.50	0.00497	0.02747	10.86	0.00519	0.02750	-13.19	4.44	0.12	55.49