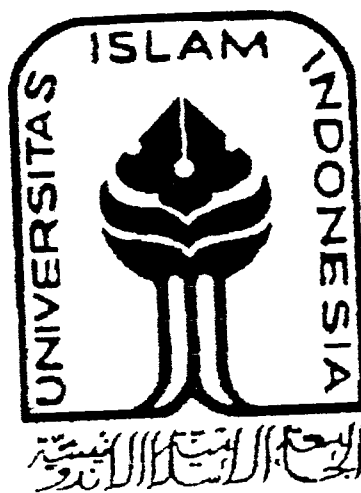


PERPUSTAKAAN FTSP
 HADIAH/BELE
 TGL TERIMA : 19-7-2001
 NO. JUDUL :
 NO. INV. : 505/1A/JTS
 NO. INDUK :

TUGAS AKHIR
 PENELITIAN LABORATORIUM

5120001280001

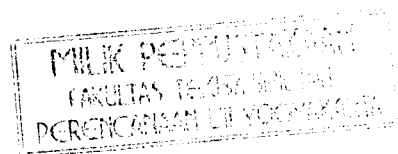
PENGARUH RONGGA PADA KUAT DESAK KOLOM
 LANGSING PENAMPANG PERSEGI DENGAN SENGGANG
 SPIRAL AKIBAT BEBAN EKSENTRIS



TA
 602.5
 AZM
 P
 01

Disusun Oleh :

Zulpan Azmi 93 310 292
 Budi Santosa 90 310 174



JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 FAKULTAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA
 2001

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH RONGGA PADA KUAT DESAK KOLOM
LANGSING PENAMPANG PERSEGI DENGAN SENGGANG
SPIRAL AKIBAT BEBAN EKSENTRIS


Disusun Oleh :

Nama : Zulpan Azmi
No. Mhs : 93 310 292


Nama : Budi Santosa
No. Mhs : 90 310 174

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Moch. Teguh, MSCE
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 5/4/2001

Ir. Fatkhurroman N, MT
Desen Pembimbing II


Tanggal :

PRAKATA



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan penelitian tentang Pengaruh Rongga Pada Kuat Desak Kolom Langsing Penampang Persegi Dengan Sengkang Spiral Akibat Beban Eksentris ini dengan baik.

Penelitian yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat sarjana S-1 ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari analisis tugas akhir Bambang Bejo dan M. Arif dengan judul Analisis Penampang Beton Bertulang Berongga Pada Struktur Kolom.

Dengan selesainya laporan penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. H. Moch. Teguh, MSCE, selaku dosen Pembimbing Utama yang dengan penuh kesabaran dan ketekunan telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.

2. Ir. Fatkhurrohman Nur Shodik, MT, selaku dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya penelitian penulis.
3. Ir. Widodo MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Ir. Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Ibu dan Ayah tercinta yang telah membimbing sejak kecil hingga kini dan selalu memberi dorongan baik moral maupun material selama pelaksanaan pendidikan, penelitian dan penulisan skripsi ini.
6. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
7. Rekan-rekan yang telah berjasa dalam penyusunan skripsi ini yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu.

Disadari bahwa hasil karya penelitian tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca laporan tugas akhir ini, namun kami berharap agar hasil yang diperoleh ini bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

Wabillahitaufik Walhidayah, Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, November 2000

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR SIMBOL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
INTISARI	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Rumusan masalah.....	3
1.6. Batasan Masalah.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Jenis Kolom.....	5
2.3. Pengaruh Rongga Terhadap Kekuatan Kolom.....	6
2.4. Tulangan Tingkat Spiral	8
BAB III. LANDASAN TEORI	
3.1. Kolom Langsing (Panjang).....	10
3.1.1. Perilaku Kolom Langsing.....	10
3.1.2. Kekuatan Kolom Langsing	12
3.1.3. Kekuatan Kolom Pendek Berongga	15
3.2. Reduksi Kekuatan Kolom Langsing Berongga	17

3.3. Hubungan Beban dan Lendutan	18
3.4. Hubungan Momen Kelengkungan.....	19
3.4.1. Menghitung Momen Retak	22
3.4.2. Leleh dan Ultimit Momen Kelengkungan	23
BAB IV. METODE PENELITIAN	
4.1. Bahan Penyusun Beton.....	28
4.2. Alat – alat	29
4.3. Benda Uji Silinder Beton	30
4.4. Benda Uji Tarik Baja.....	30
4.5. Benda Uji Kolom	30
4.6. Pelaksanaan Penelitian	31
BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
5.1. Hasil Penelitian	35
5.1.1. Hasil Uji Kuat Desak Beton	35
5.1.2. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan.....	36
5.1.3. Hasil Uji Kuat Desak Kolom	36
5.1.4. Hubungan Momen dan Kelengkungan	39
5.2. Pembahasan	45
5.2.1. Penurunan Kapasitas Kolom Ditinjau Dari Hubungan Beban Dengan Lendutan	45
5.2.2. Degradasi Momen dan Faktor Kekuan Ditinjau Dari Grafik Momen Kelengkungan.	46
5.2.3. Penurunan Kapasitas Kolom Ditinjau Dari Hubungan Beban dengan Luas Rongga.	47
5.2.4. Penurunan Kapasitas Kolom Langsing Ditinjau Dari Hubungan Beban Dengan Kelangsingan	48
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan.....	50
6.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR SIMBOL

A	=	Luas
As	=	Luas Tulangan
As'	=	Luas tulangan tarik
a	=	Panjang bentang geser
b	=	Lebar kolom
d	=	Tinggi Efektif kolom
d'	=	Jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tekan
E	=	Modulus Elastisitas Beton
EI	=	Faktor Kekakuan
fc'	=	Kuat Tekan Beton
f _{cr}	=	Kuat tekan Beton rata-rata
fs	=	Tegangan dalam
fy	=	Tegangan Leleh Baja
g	=	Percepatan Gravitasi
h	=	tinggi kolom
I	=	Momen Inersia
L	=	Panjang
M	=	Momen
Mu	=	Momen terfaktor
Mn	=	Momen nominal
P	=	Beban
s	=	spasi sengkang

s_d = standard deviasi

Φ = Kelengkungan

π = konstanta (3,14159)

Δ = Lendutan

ϵ_s = Regangan

ρ = Rasio penulangan

P_c = Beban tekuk Euler

Kl_u = panjang efektif kolom

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	1
Lampiran 2	Data Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	2
Lampiran 3	Data Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus.....	3
Lampiran 4	Data Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar	4
Lampiran 5	Hasil Pengujian Tarik Baja	5
Lampiran 6	Perencanaan Campuran Beton	6
Lampiran 7	Data Uji Kuat Desak Kolom Langsing Solid	9
Lampiran 8	Grafik Beban Lendutan (P-v) Kolom Normal	10
Lampiran 9	Data Uji Kuat Desak Kolom Langsing Berongga Diameter 25,4 mm	11
Lampiran 10	Grafik Beban Lendutan Kolom dengan Variasi Rongga Berdiameter 25,4 mm	12
Lampiran 11	Data Uji Kuat Desak Kolom Langsing Berongga Diameter 38,1 mm	13
Lampiran 12	Grafik Beban Lendutan dengan Variasi Rongga Berdiameter 38,1 mm	14
Lampiran 13	Data Uji Kuat Desak Kolom Langsing Berongga Diameter 50,8 mm	15
Lampiran 14	Grafik Beban Lendutan Kolom Dengan Variasi Rongga Berdiameter 50,8 mm	

Lampiran 15	Grafik Perbandingan Momen Kelengkungan Kolom Solid dengan Kolom Berongga Berdiameter 25,4 mm, 38,1mm dan 50,781mm.	17
Lampiran 16	Grafik Perbandingan Beban Lendutan (P-) Kolom Normal, Kolom Berongga dengan Variasi Berdiameter 25,4 mm, 38,1 mm dan 50,8 mm.	18
Lampiran 17	Perbandingan Grafik beban Lendutan (P -) Kolom Normal, Kolom Berongga dengan Variasi Berdiameter 25,4 mm, 38,1 mm, dan 50,8 mm.	19
Lampiran 18	Perhitungan Momen Kelengkungan Secara Teoritis	20
Lampiran 19	Perhitngan Momen Retak Secara Teoritis	26
Lampiran 20	Desain Kolom	29
Lampiran 21	Perencanaan Konsol	32
Lampiran 22	Foto-foto penelitian	35

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Spesifikasi Pengukuran Benda Uji Kolom	31
Tabel 5.1.	Hasil Uji Tarik Baja Tulangan	36
Tabel 5.2.	Hasil Pengujian Desak Kolom Normal	37
Tabel 5.3.	Hasil Perhitungan Momen Kelengkungan Teoritis	40
Tabel 5.4.	Hubungan Kelengkungan Kolom Normal	41
Tabel 5.5.	Analisa Data.....	46
Tabel 5.6.	Hitungan Beban dan Luas Rongga.....	47
Tabel 5.7	Hitungan Beban dan Kelangsingan.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Kolom Langsing Dibebani Secara Eksentris	11
Gambar 3.2.	Geometri Regangan Kolom	16
Gambar 3.3.	Hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ)	18
Gambar 3.4.	Kurva Momen Kelengkungan	20
Gambar 3.5.	Hubungan Momen Kelengkungan Untuk Beton Bertulang	22
Gambar 3.6.	Kelengkungan Balok	23
Gambar 3.7.	Curva momen kelengkungan	27
Gambar 4.1.	Metode pengujian benda uji kolom langsing	34
Gambar 5.1.	Grafik Beban Lendutan Kolom Normal	38
Gambar 5.2.	Grafik Beban Lendutan Kolom Normal, Kolom dengan Rongga Berdiameter 25,4 mm , 38,1 mm dan 50,8 mm...	39
Gambar 5.3.	Grafik Momen Kelengkungan Tri Linear Teoritis	40
Gambar 5.4.	Grafik Bi-Linier Momen Kelengkungan Kolom Normal.....	42
Grafik 5.5.	Grafik Momen Kelengkungan Normal dan Teoritis.....	43
Grafik 5.6.	Grafik Momen Kelengkungan Teoritis, Kolom Normal, dan Kolom Berongga Berdiameter 25,4 mm , 38,1 dan 50,8 mm	44
Gambar 5.7.	Grafik Prosentase penurunan beban terhadap variasi luas rongga	47
Gambar 5.8.	Grafik Prosentase penurunan beban terhadap variasi kelangsingan	49

INTISARI

Pemasangan pipa pralon untuk keperluan instalasi air hujan, sanitas, listrik, ke dalam beton struktur sering dijumpai dalam praktek. Cara seperti ini akan mengurangi luas penampang dan momen inersia kolom, sehingga mempengaruhi kapasitas dan kekakuan kolom.

American Concrete Institute (ACI) mensyaratkan bahwa luas pipa-pipa yang tertanam dalam kolom tidak boleh diambil lebih besar dari 5% dari luas penampang kolom. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI, 1971) mensyaratkan pengurangan penampang beton oleh pipa-pipa serta bagian-bagiannya hanya perlu diperhitungkan apabila pengurangan itu lebih dari 4%. SK-SNI belum mengatur tentang persyaratan kolom berongga.

Penelitian eksperimental pengaruh lubang terhadap kekuatan kolom dilakukan pada kolom langsing penampang persegi dengan dimensi $b = 180$ mm, $h = 180$ mm, dan tinggi 1500 mm dibuat dengan variasi luas lubang mulai dari 0%, 1,56%, 3,52 % dan 6,25% dari luas penampang efektif. Pada kolom tersebut dipasang beban desak aksial pada kedua ujungnya.

Dari grafik hubungan beban lendutan dan momen kelengkungan, dapat diketahui bahwa kolom dengan luas rongga 6,25% menunjukkan penurunan kapasitas yang cukup besar, semakin prosentase luas rongga semakin pengurangan kuat aksial kolom tersebut dan semakin kecil nilai inersia kolom, maka kolom akan semakin langsing yang akan mudah menjadi tekuk. Pada luas rongga maksimal (6,25%) kolom telah menunjukkan penurunan momen dan tingkat kekakuan yang relatif besar.

Kata kunci : luas rongga, kapasitas, momen, kelengkungan, dan kekakuan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Seiring dengan laju pembangunan fisik selama ini, beton masih menjadi salah satu bahan struktur utama, pada bangunan gedung. Karena tuntutan estetika kadang-kadang perancang memasukan pipa pralon pada instalasi pipa yang tertanam dalam komponen struktur kolom. Hal seperti ini dapat mengurangi luas penampang efektif yang akibatnya dapat mengurangi kekuatan strukturnya. Lebih-lebih untuk elemen yang secara struktural sangat penting seperti kolom.

Sebagai salah satu komponen struktur dari bangunan gedung, kolom memikul beban aksial dari balok dan beban dari lantai untuk diteruskan ke tanah melalui pondasi. Kolom merupakan komponen struktur yang menerima kombinasi gaya aksial tekan dan momen. Sebagai bagian dari kerangka bangunan dengan fungsi dan peran tersebut, kolom menempati posisi penting di dalam sistem struktur bangunan. Kegagalan komponen ini akan berakibat langsung terhadap komponen struktur lain yang berhubungan dengannya. Umumnya kegagalan atau keruntuhan tekan tidak diawali dengan peringatan yang jelas dan bersifat mendadak. Oleh karena itu dalam merencanakan kolom perlu diperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan yang lebih tinggi dari pada untuk komponen struktur lain.

Selanjutnya dalam perhitungan kekuatan konstruksi pengurangan penampang beton oleh penampang – penampang pipa serta bagian – bagiannya, hanya perlu diperhitungkan apabila pengurangan itu lebih dari 4 %. Atas dasar uraian tersebut dipandang perlu untuk mengetahui sejauh mana pengaruh pengurangan luas penampang efektif agar tidak terjadi kesalahan perencanaan pada struktur bangunan, terutama pada struktur kolom

1.2. Permasalahan

Melihat banyak kasus pemasangan instalasi pipa (listrik, air hujan dan lain-lain) yang tertanam pada elemen struktur kolom, sering dijadikan alasan untuk tujuan estetika tanpa memperhatikan pengaruh pengurangan kekuatan kolom. Meskipun dalam ACI 318-83 yang juga terdapat dalam pedoman beton 1989 dinyatakan asal tidak lebih dari 4 % dari penampang melintang yang digunakan dalam perhitungan kekuatan, maka pengaruh lubang tidak diperhitungkan. Tetapi mengingat pentingnya elemen struktur tersebut jika dibandingkan dengan elemen lain, maka perlu untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruh lubang pipa tersebut terhadap pengurangan kekuatan kolom.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. mengetahui pengaruh luas lubang terhadap reduksi kekuatan oleh beban eksentris,
2. mengetahui penurunan kapasitas pada penampang kolom beton bertulang berongga,

3. mengetahui kekakuan kolom berdasarkan grafik momen – kelengkungan,
4. memperoleh informasi tentang hubungan momen kelengkungan.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi sampai dimana pengaruh kekuatan kolom akibat adanya lubang pada kolom sehingga memiliki pengaruh kekuatan yang sangat kecil.

1.5. Rumusan Masalah

Dari permasalahan yang ada maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut ini :

1. Seberapa besar pengaruh rongga di dalam kolom terhadap kekuatan kolom itu sendiri ?
2. Berapa luas rongga yang dapat dibuat pada penampang kolom tersebut sehingga kolom mengalami reduksi kekuatan yang kecil ?

1.6. Batasan Masalah

Untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruh lubang pipa terhadap pengurangan kekuatan kolom, maka penelitian ini ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Kolom dari beton bertulang penampang segiempat dengan ukuran penampang $b = 180 \text{ mm}$, $h = 180 \text{ mm}$ dan tinggi 1500 mm (kolom langsing).
2. Diameter baja tulangan yang dipakai $\varnothing_{12} \text{ mm}$ dan pengikat spiral $\varnothing_6 \text{ mm}$.

3. Diameter rongga dipergunakan pralon dengan diameter 25,4 mm ; 38,1 mm ; dan 50,2 mm.
4. Kuat tekan pipa pralon diabaikan.
5. Pengujian hanya dilakukan pada kuat desak kolom langsing dengan sistem pemberian beban pada kedua ujung kolom.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Menurut Nawi, (1990) kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktur yang memikul beban dari balok, kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai yang bersangkutan, dan juga runtuh batas total (*ultimate total collapse*) seluruh struktur.

2.2. Jenis Kolom

Menurut Nawi, (1990) kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, posisi beban dan penampang dan panjang kolom dalam hubungan dengan dimensi lateral.

Bentuk dan susunan tulangan pada kolom dapat dibagi menjadi tiga kategori seperti dijelaskan berikut ini :

1. Kolom segi empat dan bujur sangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang.
2. Kolom bulat dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral.
3. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktur di dalamnya.

Kolom bersengkang merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena murah harga pembuatannya. Sekalipun demikian, kolom segi empat maupun bundar dengan tulangan berbentuk spiral kadang-kadang digunakan juga, terutama apabila diperlukan dektilitas kolom yang cukup tinggi seperti pada daerah-daerah gempa. Kemampuan kolom spiral untuk menahan beban maksimum pada deformasi besar mencegah terjadinya keruntuhan (*collapse*) pada struktur secara keseluruhan sebelum terjadinya redistribusi total momen dan tegangan selesai.

Berdasarkan posisi beban terhadap penampang melintang, kolom dapat diklasifikasikan atas kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris. Kolom yang mengalami beban sentris berarti tidak mengalami momen lentur akan tetapi dalam prakteknya semua kolom hendaknya direncanakan terhadap eksentrisnya yang diakibatkan oleh hal-hal tak terduga, seperti tidak tepatnya pembuatan acuan beton dan sebagainya.

2.3. Pengaruh Rongga Terhadap Kekuatan Kolom

Rongga pada penampang kolom akan mengurangi luas penampang kolom tersebut, sehingga akan berpengaruh terhadap inersia dan kelangsingan kolom.

Peraturan Beton Indonesia (PBI 1971), dalam peraturannya menyatakan pipa dapat ditanam dalam beton dengan persetujuan pengawas ahli. Pada umumnya pipa tidak boleh mempunyai diameter luar lebih besar dari sepertiga tebal pelat, dinding atau balok, selanjutnya dalam perhitungan kekuatan konstruksi pengurangan penampang beton yang efektif oleh penampang pipa serta bagian-bagiannya, hanya perlu diperhitungkan apabila pengurangan itu lebih dari 4 %.

Bambang dan M. Arif , 1997, dalam analisisnya menyimpulkan bahwa semakin besar diameter pipa/ rongga pada kolom, semakin besar pula pengaruh pengurangan kekuatan kolom tersebut, dan penempatan pipa/ rongga di dalam kolom yang paling aman adalah pada pusat geometri penampang kolom. Analisis dilakukan terhadap kolom penampang bujur sangkar $500 \times 500 \text{ mm}^2$ dengan beban eksentris, menggunakan pipa berdiameter 75 mm ($A_{pt} = 0,059 \%$ dari luas penampang kolom). Kuat aksial nominal yang dapat ditahan adalah 2613,549 kN, berkurang 0,115 % dari kuat aksial nominal yang mampu ditahan oleh kolom tanpa rongga. Untuk pipa dengan diameter 150 mm ($A_{pt} = 1,676 \%$ dari luas penampang kolom) kuat aksial nominal yang mampu ditahan adalah 1745,699 kN, berkurang 3,268 % dari kolom tanpa rongga. Tetapi untuk pipa diameter 50 mm tidak ada pengurangan kuat aksial nominal.

Supriyadi, 1997, dalam penelitiannya menghasilkan bahwa kolom penampang bujur sangkar berlubang sampai dengan ratio lubang 9,43%, dari luas penampang. Pada tingkat eksentrisitas yang sama menunjukkan tingkat kekakuan yang relatif sama. Semakin besar eksentritas akan semakin kecil pengaruh lubang terhadap penurunan kapasitas kolom. Pada daerah runtuh tarik kapasitas belangsung secara berangsur-angsur, kemudian berkurang secara tajam pada daerah batas antara eksentritas *Balance* kolom berlubang dengan eksentritas *balance* kolom *solid*. Kemudian berkurang lagi secara perlahan-lahan sampai penurunan maksimal dicapai yaitu pada eksentris minimal desain (0,1 h).

R. W. Poston dkk (1985), melakukan analisis menggunakan metode yang dikenal sebagai model serat dengan menggunakan program-program komputer

untuk menganalisis potongan-potongan lubang dari dermaga jembatan beton ramping (non prismatic). Untuk validasi (kebenaran) program, Poston, dkk, kemudian melanjutkan dengan penelitiannya model eksperimen di laboratorium dengan penelitiannya dengan penampang prismatic solid dengan variasi lubang persegiempat. Dengan hasil dapat disimpulkan sebagai berikut ini :

1. Pembatasan aplikasi asumsi *Plain – section* cukup valid untuk penampang persegi empat jika ratio bentang dinding lubang dengan tebal tidak lebih dari 6. Untuk ratio lebih besar dari enam ada reduksi kekuatan akibat *non planar action* atau *local instability*.
2. Suatu perkiraan terjadi pengurangan kekuatan sebesar 15 % untuk ratio panjang bentang dinding lubang dengan tebal 7,5 sedang untuk ratio dibawahnya tidak terlihat pengurangan kekuatan (reduksi kekuatan) secara mendasar reduksi kekuatan akan lebih besar lagi untuk dinding lubang yang lebih langsing. Untuk rasio kelangsingan lebih besar dari 7,5 perlu adanya penelitian lebih lanjut.

John S. (1989), dalam analisis menyatakan bahwa dalam hal menahan beban puntir, ternyata batang penampang berongga lebih efisien dari batang pejal tegangan geser pada batang bundar berongga mencapai nilai maksimal pada batas terluar dari penampang tersebut.

2.4. Tulangan Pengikat Spiral

Tulangan pengikat spiral digunakan untuk memegang posisi batang vertikal, sehingga batang vertikal hanya akan terletak secara individu pada di antara lilitan spiral.

Peraturan Beton Indonesia (PBI 1971), Pasal 9.7 ayat 5, mengisyaratkan jarak lilitan spiral tidak boleh diambil lebih dari $\frac{1}{5}$ dari diameter teras kolom atau 7,5 cm dan tidak boleh diambil kurang dari diameter batang spiral dan ditambah 2,4 cm diameter batang spiral tidak boleh diambil kurang dari $\frac{1}{4}$ diameter (diameter pengenal) batang tulangan memanjang yang terbesar dengan minimal 6 mm jenis baja lunak dan baja sedang dan 5 mm pada jenis baja keras, sambungan dari batang spiral harus berupa sambungan kekuatan dengan jarak minimum sekitar $\frac{1}{2}$ lilitan, kemudian membengkok kedua ujung batang spiral 90^0 ke dalam sepanjang setengah diameter teras beton.

Sampai pada titik luluh kolom, kolom-kolom ikat dan spiral bekerja secara hampir identik dan spiral tidak menambah apa pun terhadap kekuatan pada titik luluh, kurva tegangan – regangan untuk kolom ikat dan kolom spiral sampai saat ini pada dasarnya identik.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Kolom Langsing

3.1.1. Perilaku Kolom Langsing

Secara garis besar komponen struktur tekan dapat diklasifikasikan sebagai komponen struktur pendek dan komponen struktur langsing tergantung pada perilakunya. Peraturan tidak memberikan definisi batas panjang kolom pendek tetapi menetapkan digunakannya satu proses evaluasi kelangsingan pada nilai rasio kelangsingan tertentu. Dengan cara demikian, sebenarnya SK SNI T-15-1991-03 menggolongkan komponen struktur tekan menjadi dua yaitu komponen struktur kolom pendek dan langsing. Semakin langsing suatu kolom semakin mudah terjadi tekuk (buckling) akibat lentur dan atau puntir. Untuk mencegah tekuk yang tidak dikehendaki, diperlukan evaluasi terhadap reduksi kekuatan yang harus diberikan dalam perhitungan struktur kolom (Istimawan, 1994)

Suatu kolom digolongkan langsing apabila dimensi atau ukuran penampang lintangnya kecil dibandingkan dengan tinggi bebasnya (tinggi yang ditopang). Tingkat kelangsingan suatu kolom langsing diungkapkan sebagai ratio kelangsingan

$\frac{klu}{r} < 22$, untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan oleh goyangan samping

$\frac{klu}{r} < 34 - 12 M_{1b} / M_{2b}$, untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan ke samping

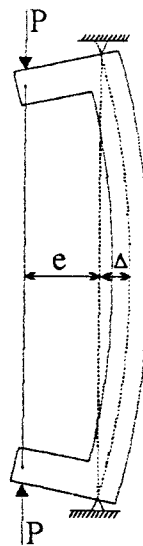
$\frac{klu}{r} > 22$, untuk kolom langsing

Dengan : k : faktor panjang efektif komponen struktur tekan,
 L_u : panjang komponen struktur tekan yang ditopang,
 r : jari – jari putaran (radius of gyration) potong lintang komponen

$$\text{struktur tekan} = \sqrt{\frac{1}{A}} ; \text{ditetapkan } 0,03 h,$$

Dengan h ukuran dimensi kolom persegi pada arah bekerjanya momen atau $0,25 d$ dengan D adalah diameter kolom bulat (SK SNI T – 15 – 1991 – 03 pasal 3.3.11 ayat 3).

Kolom langsing yang menahan kombinasi lebar aksial tekan dengan lentur akan mendapatkan momen lentur tambahan (momen sekunder) akibat efek $P - \Delta$ dan mengalami demorfasi ke arah lateral, dengan P adalah beban aksial dan Δ defleksi kolom tertekuk ke arah lateral pada penampang yang ditinjau, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.1. (Park and Pauley, 1975).



Gambar 3.1. Kolom Langsing yang dibebani secara eksentris

Apabila ditinjau suatu kolom langsing yang menahan gaya aksial P dengan eksentrisitas e , tampak pada Gambar 3.1 adanya efek tekuk yang mengakibatkan momen lentur tambahan $P(\Delta)$. Momen lentur tambahan atau disebut momen sekunder, dengan sendirinya akan mengakibatkan kapasitas gaya normal turun atau mengecil. Dengan demikian jumlah momen menjadi $P(e + \Delta)$, dan selanjutnya tinjauan kekuatan didasarkan pada momen sudah dibesarkan ini. Gaya P yang bekerja dengan eksentrisitas $(e+\Delta)$ sehingga menghasilkan M total (Park & Paulay, 1975).

3.1.2. Kekuatan Kolom Langsing

Apabila angka kelangsingan kl_u / r melebihi persyaratan seperti yang tercantum pada bab 3 sub bab 3.1.1 maka digunakan dua metode analisis stabilitas.

1. Metode pembesaran momen (*momen magnification method*)

Metode analisis ini didasarkan atas momen yang diperbesar yang dinyatakan sebagai :

$$M_c = \delta M_2 = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan :

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{F_u}{F_c}} \geq 1 \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \sum P_c}} \geq 1 \dots \dots \dots (3.3)$$

dan

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dengan :

P_c = beban tekuk Euler

Kl_u = panjang efektif kolom

$\sum P_u \sum P_c$ = jumlah untuk semua kolom pada satu tingkat

l_u = panjang tak tertumpu kolom

C_m = faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan diagram momen seragam ekuivalen ; hanya untuk kolom berpengaku yang mengalami beban ujung.

$\sum P_u$ dan $\sum P_c$ adalah penjumlahan gaya tekan dari semua kolom dalam satu tingkat.

- a) Untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping nilai δ_b dan δ_s harus diambil serta nilai k harus lebih besar dari 1.
- b) Sedangkan untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, nilai δ_s harus diambil serta nilai k harus lebih besar dari 1.
- c) Untuk komponen struktur yang ditahan terhadap goyangan ke samping dan tanpa beban transversal diantara tumpuannya, C_m boleh diambil sebagai :

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \geq 0,4 \dots\dots\dots (3.5)$$

- d) Dan untuk kasus lain C_m harus diambil sebesar 1.

Menurut SNI (1991), bila perhitungannya menunjukkan bahwa pada kedua ujung suatu komponen struktur tekan yang tertahan tidak terdapat momen atau eksentrisitas ujung yang diperoleh dari perhitungan, kurang dari $(15 + 0,03h)$ mm

M_{2b} dalam Persamaan 3.1 harus diperoleh dari perhitungan, kurang dari $(15 + 0,03h)$ mm. Rasio dari M_{1b} / M_{2b} dalam persamaan 3.5 harus ditentukan dari salah satu ketentuan sebagai berikut :

1. Bila eksentrisitas ujung yang didapat dari perhitungan kurang dari $(15 + 0,3 h)$ mm, momen ujung yang didapat dari perhitungan boleh digunakan untuk menghitung M_{1b}/M_{2b} dalam persamaan 3.2.
2. Bila perhitungan menunjukkan bahwa pada dasarnya di kedua ujung dari suatu komponen struktur belum terdapat momen, rasio dari M_{1b}/M_{2b} harus diambil sama dengan 1.

Sedangkan bila perhitungan menunjukkan bahwa pada kedua ujung dari suatu komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping tidak terdapat momen atau bahwa eksentrisitas ujung yang diperoleh dari perhitungan kurang dari $(15 + 0,03h)$ mm, maka M_{2b} dalam persamaan 3.1 harus didasarkan pada suatu eksentrisitas minimum sebesar $(15 + 0,03h)$ mm.

Dalam mengestimasi EI harus dimasukkan efek retak dan rangkai untuk pembebanan jangka panjang. Untuk semua batang tekan :

$$EI = \frac{(E_c I_g / 5) + E_s / I_s}{1 + \beta_d} \dots\dots\dots (3.6)$$

Untuk batang tekan bertulang sedikit ($\rho_g \leq 3 \%$), persamaan ini dapat disederhanakan menjadi :

$$EI = \frac{E_c I_g / 2,5}{1 + \beta_d} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan :

$$\beta_d = \frac{\text{momen beban mati rencana}}{\text{momen total rencana}} \leq 1$$

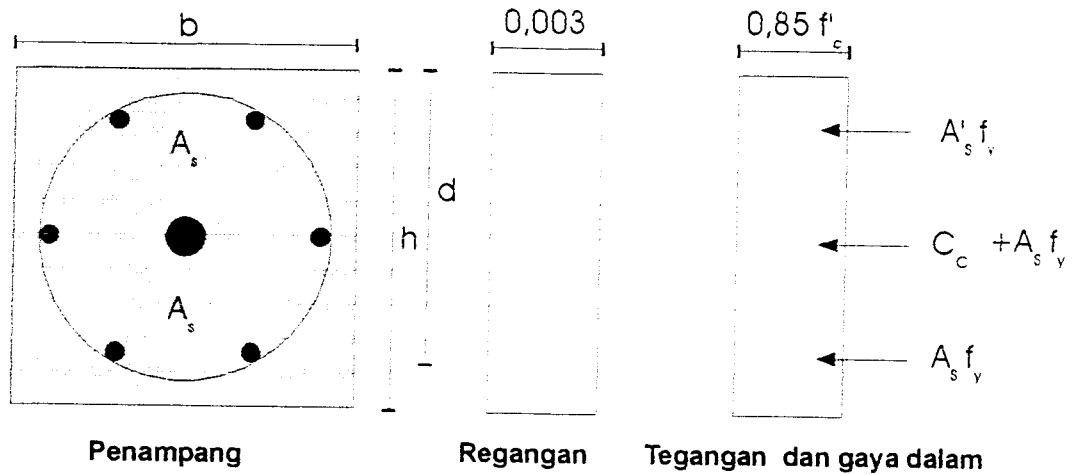
3.1.3. Kekuatan Kolom Pendek Berongga

Ditinjau suatu kolom yang luas penampang brutonya A_g dengan lebar b dan tinggi total h , bertulangan baja dengan luas total A_{st} (terbagi pada semua sisi kolom dan luas pipa/ rongga A_p). Luas neto penampang beton adalah $A_g - A_{st} - A_p$.

Kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st} - A_p)$ dan kontribusi baja, $A_{st} \cdot f_y$ dengan A_g adalah luas bruto total penampang pipa. Beton yang digunakan dalam perhitungan disini adalah $0,85 f'_c$. Hal ini disebabkan oleh kekuatan maksimum yang dipertahankan pada struktur aktual mendekati nilai $0,85 f'_c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentris maksimum adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai :

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st} - A_p) + A_{st} \cdot f_y \dots\dots\dots (3.8)$$

Perlu ditekankan di sini bahwa sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata di seluruh bagian penampang ini berarti bahwa pada saat terjadi keruntuhan, tegangan dan regangannya akan merata di seluruh bagian penampang seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.2 (Bambang S dan Arief S, 1997).



Gambar 3.2. Geometri, Regangan Kolom Beban Sentris

Membuat eksentrisitas nol merupakan hal yang tidak mungkin terjadi di dalam struktur aktual. Beberapa hal yang dapat menyebabkan eksentrisitas sangat mudah terjadi misalnya ketidak-tepatan letak dan ukuran kolom, beban yang tidak simetris akibat perbedaan tebal plat di sekitar kolom, atau ada ketidaksempurnaan lainnya. Dengan demikian perlu adanya eksentrisitas minimum yang dapat diterima dalam arah tegak lurus sumbu lentur, yaitu 10% dari tebal kolom untuk kolom bersengkang dan 5% untuk kolom berspiral.

Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisis dan desain, peraturan SK SNI T-15-1991-03 mensyaratkan suatu reduksi beban aksial sebesar 20% untuk kolom bersengkang dan 15% untuk kolom spiral. Dengan demikian kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar dari pada :

$$P_{n \text{ (maks)}} = 0,8 [0,85 f_c' (A_g - A_{st} - A_p)] + A_s f_y \dots\dots\dots (3.9)$$

Untuk kolom bersengkang, dan

$$P_{n \text{ (maks)}} = 0,85 [0,85 f'_c (A_g - A_{st} - A_p)] + A_s f_y \quad (3.10) \dots \dots \dots (3.10)$$

Untuk kolom spiral

3.2. Reduksi Kekuatan Pada Kolom Langsing Berongga

Ditinjau dari suatu penampang kolom persegi dengan h adalah tinggi dan b adalah lebar, maka dapat ditentukan Inersia (I) kolom sebagai berikut :

$$I = 1/12 bh^3$$

Karena pengaruh rongga mengakibatkan Inersia (I) penampang kolom tersebut berkurang, sehingga kekuatan kolom akan tereduksi. Semakin besar rongga yang ada pada penampang kolom, maka semakin besar pula reduksi kekuatan yang terjadi, dan mengakibatkan momen semakin besar, begitu juga nilai kelengkungan akan bertambah besar, ini akan sangat jelas pada kolom langsing. Untuk menentukan kelengkungan suatu kolom solid dapat dihitung pada persamaan (Park and Paulay, 1975).

$$\phi = \frac{M}{EI} \dots \dots \dots (3.11)$$

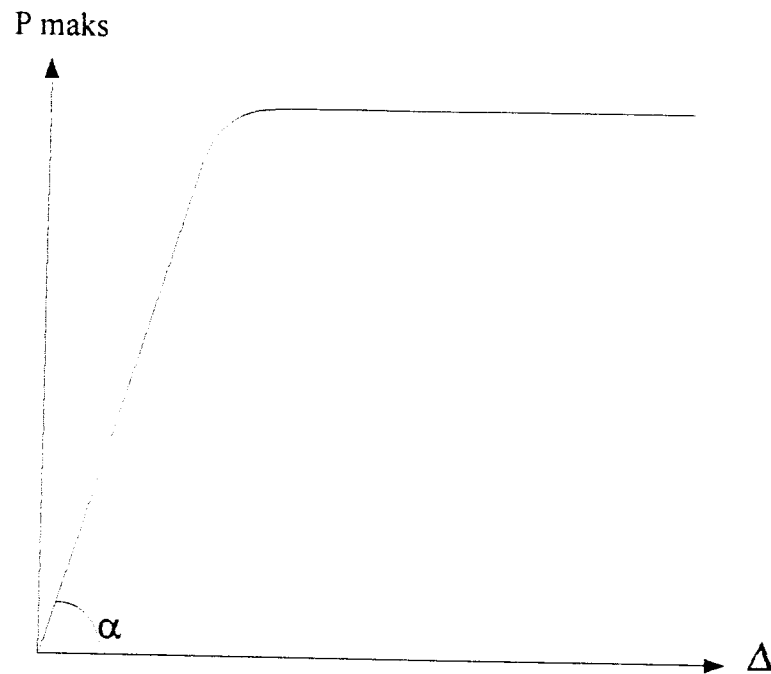
Dari persamaan di atas dapat ditentukan nilai kelengkungan dari kolom yang berongga dengan pengurangan nilai Inersia (I). Pada keadaan elastis, nilai kelengkungan dapat dicari dengan :

$$I = 1/12 bh^3 - 1/64 \pi D^4 \longrightarrow D = \text{Diameter rongga}$$

$$\text{Maka } \Phi = \frac{M}{E \left(\frac{1}{12} bh^3 - \frac{1}{64} \pi D^4 \right)} \dots \dots \dots (3.12)$$

3.3. Hubungan beban dan lendutan

Hubungan beban (P) dengan defleksi (Δ) diperoleh dari hasil uji pembebanan (*loading test*). Beban (P) diberikan bertahap dengan kenaikan setiap 0,5 ton sesuai yang dilakukan Fatkhurrohman (1999) pemberian beban pada balok akan mengakibatkan penurunan atau defleksi (seperti Gambar 3.3)



Gambar 3.3 Hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ)

Dari hubungan antara beban (P) dan defleksi (Δ) Gambar 3.3 didapat kekakuan kolom (k) sebagai berikut :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots (3.13)$$

$$k = \operatorname{tg} \alpha \dots\dots\dots (3.14)$$

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots (3.15)$$

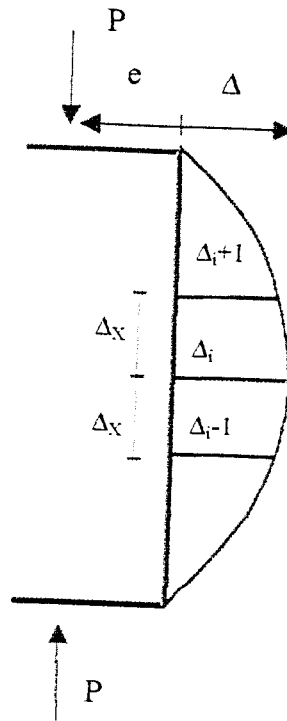
3.4. Hubungan Momen Kelengkungan

Dasar untuk perencanaan limit terletak pada kelakuan dari material yang tidak elastis pada tegangan-tegangan yang tinggi, yaitu kemampuannya untuk menahan suatu momen luluh tertentu sementara suatu kenaikan pada kelengkungan setempat yang banyak sekali terjadi. Pada kerangka statis tidak tertentu ini berarti suatu tampang setempat yang tertentu yang cenderung dibebani secara berlebihan meluluh dan menolak untuk menerima momen lagi, tetapi tidak runtuh. Malahan membentuk apa yang dinamakan "sendi" dan dengan demikian gaya-gaya beraksi terhadap pembebanan selanjutnya sampai tampang-tampang yang kurang sepenuhnya diregangkan. Suatu perencanaan limit harus mulai dengan mempertimbangkan hubungan antara momen lentur dan kelengkungan yang dihasilkan suatu bagian konstruksi. Peningkatan kelengkungan yang digunakan untuk menentukan kuat lentur beban kolom beton bertulang yang mengalami kerusakan. Lokasi kerusakan dalam penelitian ini dideteksi dengan peningkatan rangkaian kelengkungan. Hubungan momen, kelengkungan dan faktor kekakuan lentur dinyatakan dengan persamaan :

$$\Phi = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (3.11)$$

Dengan ini Φ , M dan EI berturut-turut menyatakan kelengkungan momen dan faktor kekakuan, karena nilai EI elemen kolom yang rusak berkurang, dan kelengkungannya meningkat. Peningkatan kelengkungan ini digunakan untuk menentukan kuat lentur sisa kolom beton bertulang yang mengalami kerusakan. Kelengkungan kolom diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan metode

central difference. Dengan cara pada ujung kolom diberikan beban maksimum dengan memakai sistem pembebanan yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. berikut :



Gambar 3.4. Momen Kelengkungan

Standard kemiringan (*sloop*) didekati dengan persamaan :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\Delta_{i+1} - \Delta_{i-1}}{2\Delta x} \dots\dots\dots (3.16)$$

Turunan persamaan (3.16) adalah :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\Delta_{i+1} - 2\Delta_i + \Delta_{i-1}}{\Delta x^2} \dots\dots\dots (3.17)$$

Menurut *Themoshenko*, kelengkungan didekati dengan :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \emptyset \dots\dots\dots (3.18)$$

Sehingga kelengkungan kolom didekati dengan persamaan :

$$\phi = \frac{\Delta_i + 1 - 2\Delta_i + \Delta_i - 1}{\Delta x^2} \dots\dots\dots (3.19)$$

Momen maksimum kolom yang menerima beban besar ditentukan dengan persamaan :

$$M = P \cdot e \dots\dots\dots (3.19)$$

Dengan e mengalami penambahan sebesar Δn maka momennya didapat :

$$M = P (e + \Delta n) \dots\dots\dots (3.20)$$

Dengan:

M = momen

P = beban

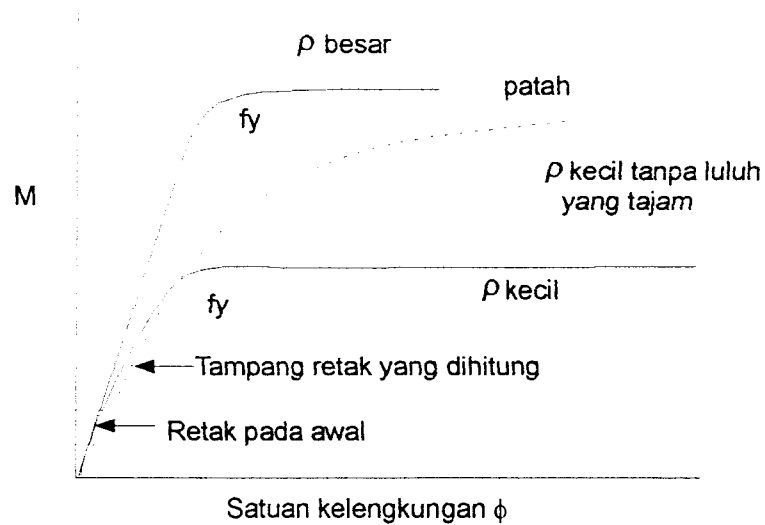
e = eksentrisitas

Δ = displacemen. yang terjadi

Menurut *Themoshenko* hubungan faktor kekakuan dan kelengkungan adalah :

$$EI = \frac{M}{\phi} \dots\dots\dots (3.21)$$

Grafik momen kelengkungan untuk uji lentur ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.5. Hubungan momen kelengkungan untuk beton bertulang (Fergusson)

3.4.1. Menghitung Momen Retak

Mengacu pada Istimawan (1994), momen retak secara teoritis dihitung dengan persamaan :

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{Y_t} \dots\dots\dots (3.22)$$

Dengan : M_{cr} = momen retak , f_r = modulus letak beton = $0,7 \times \sqrt{f_c'}$, I_g = inersia kolom $1/12 bh^3$, Y_t = jarak garis netral ke serat tepi tertarik.

Pada persamaan di atas nilai I_g adalah untuk kolom normal tanpa rongga, sedangkan untuk kolom yang diberi rongga dengan diameter rongga telah ditentukan akan mengalami perubahan nilai inersia (I_g), sehingga persamaan di atas berubah menjadi $I_g = (1/12 bh^3 - 1/64 \pi D^4)$

Dengan : b = lebar kolom, h = tinggi kolom, D = diameter rongga

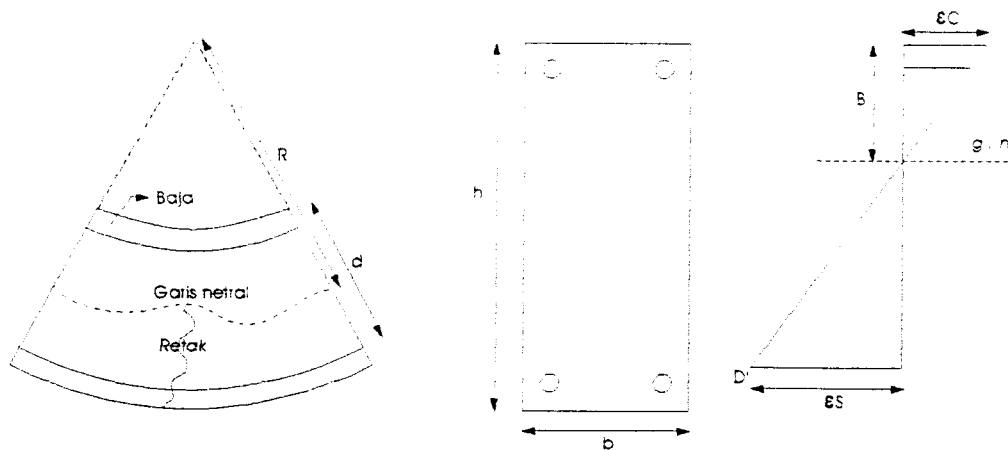
Kemudian untuk mencari P_{cr} secara teoritis digunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_{cr} = P_{cr} \cdot e \dots\dots\dots (3.23)$$

$$P_{cr} = \frac{M_{cr}}{e} \dots\dots\dots (3.24)$$

3.4.2. Kondisi Leleh dan Ultimit Momen – Kelengkungan

Sebuah elemen lurus dari sebuah kolom beton bertulang dengan momen – momen ujung dan gaya aksial yang sama seperti gambar 3.6. Jari-jari kelengkungan R diukur dari garis netral. Adanya retak – retak pada beton akibat terjadi penambahan tegangan akan merubah jari – jari kelengkungan (R), tinggi netral (k_d), regangan beton (ϵ_c) dan regangan baja tarik (ϵ_s). (Park and Pauley)



Gambar 3.6. Kelengkungan Balok

Menganggap sebuah elemen dengan panjang dx dari kolom dan menggunakan notasi seperti pada Gambar 3.6. maka rotasi diantara ujung-ujung dari elemen diberikan oleh :

$$\frac{d_x}{R} = \frac{\varepsilon_c d_x}{kd} = \frac{\varepsilon_s d_x}{d(1-k)}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon}{d(1-k)}$$

$$\Phi = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_c}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} \dots\dots\dots(3.25)$$

dengan : Φ = kelengkungan, ε_c = regangan beton, ε_s = regangan baja,
 d = tinggi efektif penampang

Ini menunjukkan bahwa kelengkungan Φ adalah gradien dari regangan dari elemen seperti dalam Gambar 3.6. Kelengkungan akan benar – benar berubah sepanjang bentang balok karena baik-turunnya garis netral dan regangan-regangan diantara retak-retak. Jika panjang elemen adalah kecil dan sebuah retak berakhir, kelengkungan dihitung dengan persamaan (3.27) untuk penampang ijin yang diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan.

Kelengkungan akan besar jika regangan baja dan beton besar, sehingga terjadi hubungan perbandingan lurus. Begitu juga dengan kekuannya, jika kelengkungan besar maka kekauan akan kecil, ini terlihat pada persamaan (3.21)

Pada umumnya kasus dari sebuah penampang persegi bertulang ganda pada leleh pertama dari tegangan baja dan regangan ultimit beton dapat ditentukan dengan persamaan kelengkungan.

Persamaan Momen-Kelengkungan pada saat leleh pertama dicari dengan persamaan (Park and Pauley, 1975) :

$$k = [(\rho + \rho')^2 n^2 + 2(\rho + \frac{\rho' d'}{d}) n]^{1/2} - (\rho - \rho')^n \dots\dots\dots(3.26)$$

$$M_y = A_s \times f_y \times jd \dots\dots\dots(3.27)$$

$$\Phi_y = \frac{\frac{f_y}{E_s}}{d(1-k)} \dots\dots\dots (3.28)$$

Dengan : k = faktor tinggi garis netral

M_y = Momen leleh pertama

Φ_y = Kelengkungan leleh pertama

A_s = Luas tulangan tarik

A_s' = Luas tulangan tekan

d = tinggi efektif penampang

d' = jarak dari serat tekan ketitik berat baja tekan

E_c = Modulus elastis beton

E_s = Modulus elastis baja

f_y = Tegangan leleh baja

jd = lengan dari titik berat dari baja tekan dan beton ketitik berat tulangan tarik.

$$n = \frac{E_s}{E_c} ; \rho = \frac{A_s}{bd} ; \rho' = \frac{A_s'}{bd} \dots\dots\dots (3.29)$$

Mengacu pada SKSNI nilai modulus elastis beton didekati dengan persamaan :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3.30)$$

Penurunan kuat tekan beton mempengaruhi penurunan nilai modulus elastisitas beton. Dengan demikian nilai perbandingan antara modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton (n) akan semakin besar.

$$\varepsilon_c \left[1 - \beta_1 \times d' \left(\frac{0,85 \times f_c \times b}{A_s \times f_y - A'_s \times f_y} \right) \right] \geq \frac{f_y}{E_s} \dots \dots \dots (3.35)$$

Jika persamaan (3.35) kurang sesuai, baja tekan tidak leleh, maka nilai nyata dari tegangan baja dicari dengan persamaan :

$$f'_s = \varepsilon'_s \times E_s \dots \dots \dots (3.36)$$

Maka momen ultimit dapat dicari dengan persamaan:

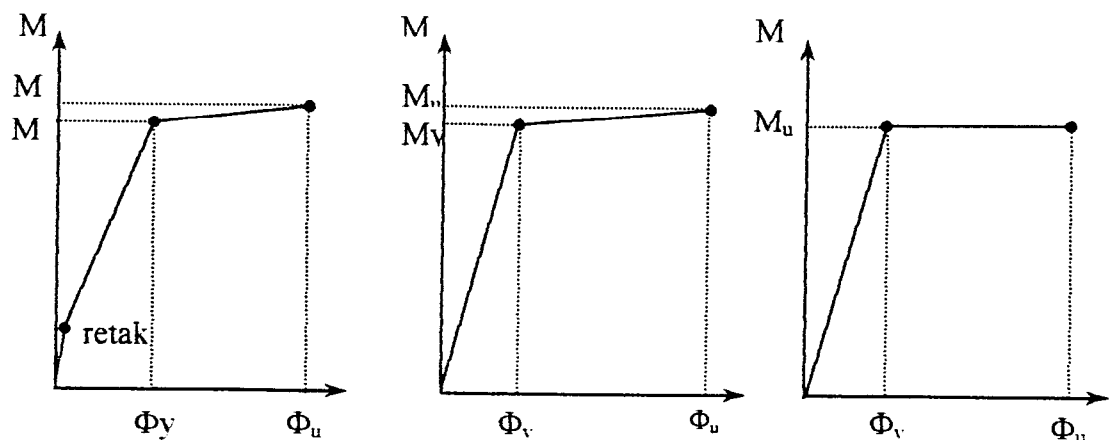
➤ Untuk kolom normal

$$M_u = 0,85 \times f_c' \times a \times b \times \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) + A_s \times E_s \times \varepsilon_c - \left(\left(\frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) \times (d - d') \right) \dots \dots \dots (3.37)$$

Ukuran dari peningkatan momen lentur setelah leleh dikenal M_u / M_y . Rasio ini ditentukan dari persamaan (3.27) dan (3.32). Rasio Φ_u / Φ_y dapat ditulis seperti:

$$\frac{\Phi_u}{\Phi_y} = \frac{\varepsilon_c}{\frac{f_y}{E_s}} \times \frac{d(1-k)}{\frac{a}{\beta_1}} \dots \dots \dots (3.38)$$

Mengacu pada persamaan (3.28) dan (3.33) perubahan material yang berupa penurunan f_c berpengaruh terhadap kenaikan nilai Φ_y dan penurunan Φ_u menyebabkan penurunan rasio faktor daktilitas kelengkungan beton.



Gambar 3.7 Curva momen kelengkungan

BAB IV

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian di laboratorium dikembangkan metode yang didasarkan pada pembuatan diagram dari hasil pengujian desak dari kolom penampang segiempat berongga yang divariasikan mulai ratio lubang 0% (solid) sampai dengan lubang maksimal. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka dibuat benda uji kolom dengan ratio lubang 0% (solid) dengan ukuran dan jumlah tulangan yang sering dijumpai dalam analisis di literatur dan peraturan-peraturan.

Berdasarkan PBI'71 (1971) pasal 9.7 ayat 1 dinyatakan, dimensi kolom struktur dengan lilitan spiral tidak boleh mempunyai ukuran penampang kurang dari 17 cm. Pada Ayat 2, bahwa dalam segala hal, luas tulangan memanjang kolom tidak boleh diambil kurang dari 1% dari luas penampang teras beton, dengan minimum 6 buah batang tulangan. Diameter (diameter pengenal) tulangan memanjang tidak boleh diambil kurang dari 12 mm .

Dalam penelitian ini spesifikasi benda uji kolom dibuat dengan mengingat alasan-alasan tersebut di atas serta keterbatasan kapasitas alat (*load cell*)

4.1. Bahan

- a. Bahan beton. Beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton normal yang terdiri dari : agregat halus alami (pasir) dari Sungai Progo diameter maksimum 4 mm, agregat kasar batu pecah dengan diameter minimum 4.8 mm dan diameter maksimum 10 mm. Jenis semen tipe I merk Nusantara dan

air diambil dari Laboratorium Struktur FTSP UGM. Perancangan campuran beton dibuat berdasarkan ACI (*American Concrete Institute*), kuat tekan beton dibuat sekitar 20 Mpa agar kekuatan benda uji tidak melampaui kapasitas *hydraulic jack*. Berdasarkan perancangan tersebut perbandingan kebutuhan bahan adukan untuk setiap meter kubik beton diperlukan 367 kg semen, 895 kg pasir, 842 kg batu pecah dan 203 lt air.

- b. Baja tulangan. Baja tulangan yang dipakai untuk tulangan longitudinal 12 mm sedang untuk pengikat spiral digunakan tulangan berdiameter 6 mm.
- c. Cetakan. Cetakan untuk membuat benda uji dipakai triplek tebal 9 mm kombinasi papan dan untuk membuat lubang longitudinal digunakan pralon dengan diameter 25,4mm, 38,1mm, dan 50,8mm.

4.2. Alat-alat

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam yaitu :

Pertama, alat tekan silinder beton yaitu alat penguji tekan silinder beton merk ELE buatan Inggris kapasitas 200 kN dan alat penguji tarik baja *Universal Testing Machine* (UTM) United Model No. SFM – 30 seri 989540 buatan USA dengan kapasitas 13 ton.

Kedua, alat penguji spesimen kolom yaitu dengan menggunakan rangka (*frame*) baja yang berbentuk segitiga dilengkapi dengan portal baja L digunakan untuk menempatkan dial gauge , pengujian benda uji dilakukan dengan diletakkan di lantai yang dialasi dengan bola baja.

Ketiga, alat-alat pendukung. Untuk memberikan gaya tekan pada spesimen dikerjakan melalui *hydraulic jack* yang dipasang pada bagian bawah rangka baja. *Hydraulic jack* ini digerakkan secara manual dengan menggerakkan tangki pompa dengan kapasitas 50 ton. Untuk mengamati ketepatan pembebanan. *Hydraulic jack* dilengkapi dengan satu buah *load cell* yang dipasang secara paralel dengan kapasitas masing *load cell* 60 ton. Untuk mengamati defleksi lateral sepanjang tinggi kolom dipasang 3 buah *dial gauge* , 2 buah dipasang di ujung kolom dan 1 buah dipasang di tengah-tengah tinggi kolom. Alat-alat utama pendukung lainnya adalah cetakan silinder, *slump test*, mixer dan vibrator yang digunakan untuk pengadukan campuran beton dan pemadatan saat pencoran. Alat pendukung lain seperti ayakan, timbangan, mistar dan kaliper.

4.3. Benda uji silinder beton

Benda uji silinder beton digunakan untuk menentukan kekuatan tekan beton f_c' dengan diameter 15 cm x 30 cm. Setiap kali adukan, dibuat 3 buah benda uji silinder dibuat kesamaan dengan pembuatan benda uji kolom.

4.4. Benda uji tarik baja

Benda uji tarik baja dibuat untuk mengetahui tegangan leleh baja yang digunakan untuk penulangan benda uji kolom.

4.5. Benda uji kolom

Benda uji kolom yang digunakan dalam pengujian dibuat sebanyak 12 buah dengan tampang segiempat. Spesifikasi benda uji yang dibuat adalah panjang

efektif 1500 mm, dimensi penampang 180 x 180 mm, tulangan longitudinal 6 \varnothing 12, tulangan pengikat spiral \varnothing 6 dan tebal penutup beton 20 mm. Variabel utama penelitian adalah diameter lubang penampang kolom. Variasi lubang dibuat tanpa lubang (solid), lubang 25,4 mm ; 38,1mm ; dan 50,8 mm. Spesifikasi benda uji selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.1 Spesifikasi pengukuran benda uji kolom

kode kolom	bh (mm ²)	t (mm)	\varnothing tulangan (mm)	\varnothing luas rongga (mm ²)	eksen (mm)
C ₁ - S ₁	32400	1500	12,00	0	200
C ₁ - S ₂	32400	1500	12,00	0	200
C ₁ - S ₃	32400	1500	12,00	0	200
C ₂ - R _{1a}	32400	1500	12,00	506,5	200
C ₂ - R _{2a}	32400	1500	12,00	506,5	200
C ₂ - R _{3a}	32400	1500	12,00	506,5	200
C ₃ - R _{1b}	32400	1500	12,00	1139,5	200
C ₃ - R _{2b}	32400	1500	12,00	1139,5	200
C ₃ - R _{3b}	32400	1500	12,00	1139,5	200
C ₄ - R _{1c}	32400	1500	12,00	2025,8	200
C ₄ - R _{2c}	32400	1500	12,00	2025,8	200
C ₄ - R _{3c}	32400	1500	12,00	2025,8	200

Keterangan kode kolom :

C - S = Kolom tidak bertulang (solid)

C - R = Kolom berongga (berlubang)

A,B,C = Diameter rongga masing - masing adalah 25,4 mm ; 38,1 mm ; dan 50,8 mm

4.6. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian terdiri dari beberapa tahap yaitu :

a. Tahap persiapan.

Pada tahap ini dilakukan persiapan untuk membuat silinder beton dan spesimen kolom. Persiapan untuk membuat proporsi campuran beton agar kuat tekan dapat

mencapai kuat tekan sebagaimana yang diharapkan. Agregat halus dan agregat kasar dibuat agar masuk dalam batas gradasi agregat. Untuk persiapan pembuatan spesimen kolom tahap yang dilakukan adalah pembuatan cetakan dan pengaturan (perangkaian) penulangan antara lain mengenai, jumlah tulangan longitudinal, jarak tulangan sengkang, dan pemasangan pipa pralon sesuai dengan yang direncanakan.

- b. tahap pencoran. kebutuhan bahan-bahan beton yang telah ditimbang sesuai dengan proporsinya, diaduk dengan menggunakan mesin pengaduk mixer. Pengadukan beton dalam mixer dilakukan kurang lebih 10 menit, sehingga bahan-bahan tercampur homogen. Sebelum beton diisikan ke dalam cetakan silinder dan cetakan benda diisikan ke dalam cetakan silinder dan cetakan benda uji kolom adukan diuji terlebih dahulu tinggi slumpnya. Setelah itu kemudian membuat benda uji silinder diambil 1 buah untuk satu kali adukan. Selanjutnya adukan beton diisikan pada cetakan yang sudah diisi perlengkapan rangkaian tulangan sambil digetarkan dengan alat *vibrator* agar beton tidak keropos. Cetakan beton bagian samping dapat dibuka setelah satu hari pengecoran, dan dilakukan rawatan selama tujuh hari dengan jalan menyiram dengan air dengan ditutup dengan goni. Rawatan silinder beton diperlukan sama dengan perawatan benda uji kolom agar kekuatan silinder dapat mewakili benda uji. pelaksanaan pencoran benda uji kolom dilakukan secara horizontal pada cetakan, hal ini dimaksudkan untuk menghindari perbedaan-perbedaan kekuatan antara bagian atas dan bagian bawah kolom.

c. Pengujian baja

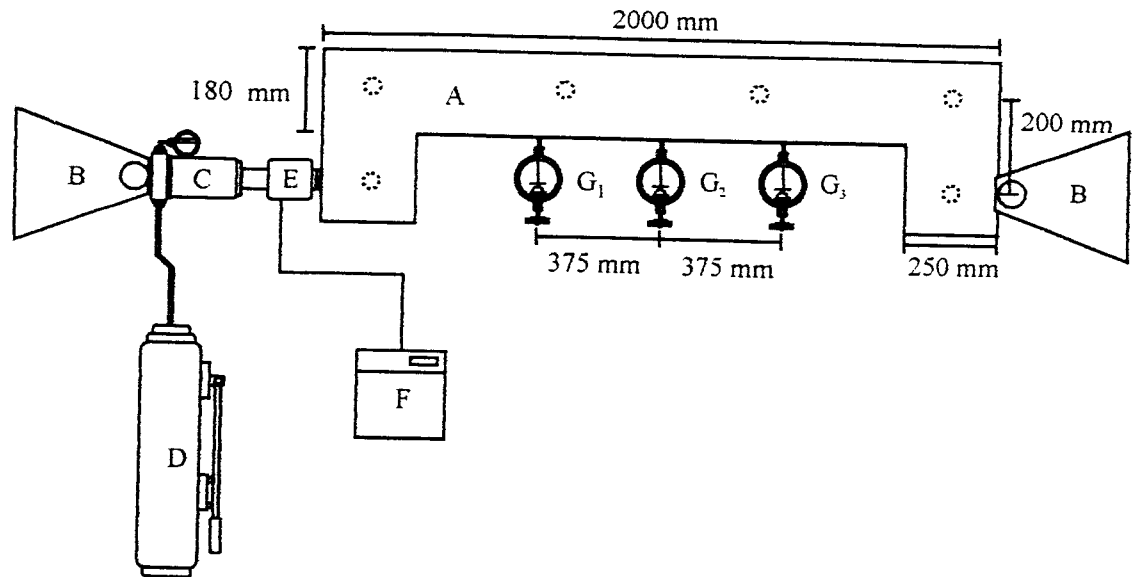
Sebagian baja yang digunakan untuk tulangan benda uji kolom diambil secara acak untuk diuji. Panjang benda uji yang digunakan kurang lebih 100 mm. Setelah diameter benda uji baja diukur kemudian ditarik dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM) sampai putus.

d. Pengujian silinder beton

Pengujian silinder dengan beton dilakukan setelah berumur 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian bagian atas silinder diberi gip agar permukaan rata dan diameter benda uji diukur, kemudian diuji tekan dengan alat *compression test machine* sampai pecah.

e. Pengujian benda uji kolom

Pengujian benda uji kolom dilakukan setelah berumur 28 hari. Benda uji kolom dipasang pada *frame* dengan alat penekan *hydarulic jack* yang dilengkapi *load call*. Dengan tumpuan di kedua ujungnya diatur sedemikian sehingga terjadi eksentrisitas pada ujung yang diinginkan. Setelah kedudukan benda uji kolom tepat, pompa pada *hydraulic jack* digerakkan secara manual, sehingga menekan benda uji kolom. Pembebanan dilakukan dengan kenaikan beban dicatat gaya tekan yang bekerja, regangan baja dan defleksi lateral di tengah-tengah tinggi kolom. pompa hydraulic digerakkan perlahan lahan agar tidak terjadi kejutan. Pemompaan dihentikan apabila benda uji kolom tidak dapat mendukung beban yang berarti. Cara pengujian benda uji kolom ini dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Metode Pengujian Benda Uji Kolom Langsing

Keterangan :

- A = Kolom
- B = Kerangka Baja
- C = Hidrolic Jack
- D = Pompa Hidrolik
- F = Load Sell
- F = Tranduser
- G₁ = Dial 1
- G₂ = Dial 2
- G₃ = Dial 3
- ⊙ = Bola baja

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Penelitian

Maksud dilakukannya pengujian pada benda uji adalah untuk mendapatkan data primer berupa kuat desak beton silinder, kuat tarik baja tulangan, perubahan fisik yang terjadi pada benda uji, beban lendutan kolom normal, beban lendutan kolom solid dan beban lendutan kolom penampang berongga. Dari hasil pengujian tersebut, data yang diperoleh pengujian dianalisa untuk membuat grafik beban lendutan ($P - \Delta$) dan grafik hubungan momen kelengkungan ($M-\Phi$)

5.1.1. Hasil Uji Kuat Desak Beton

Kekuatan desak beton rencana dapat direncanakan pada jenis campuran, sifat-sifat agregat serta kualitas rawatan. Kuat desak beton diketahui dari uji desak 21 buah silinder beton ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Silinder beton dilakukan pengujian setelah beton berumur 28 hari. Kuat desak beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah 20 MPa dari hasil uji desak beton didapat kuat desak 21,5 MPa, sehingga memenuhi kuat desak beton rencana yang disyaratkan.

Uji kuat tekan 21 buah silinder beton bertujuan mengetahui kuat tekan beton pada model, hasil uji disajikan pada lampiran 6, sedangkan rangkuman hasil uji sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan rata-rata } (f'_{cr}) = 27,628 \text{ MPa}$$

$$\text{Standart deviasi } (S) = 3,736 \text{ MPa}$$

Jika penyimpangan maksimum 5% kuat desak karakteristik silinder beton dihitung dengan persamaan :

$$f'c = f'cr - 1,64 s$$

didapat $f'c = 27,628 - 1,64 (3,736)$

$$= 21,2500 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton pada model adalah 21,5 MPa.

5.1.2. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan

Uji kuat tarik baja tulangan dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang dalam benda uji. Sedangkan hasilnya ditunjukkan pada lampiran 1, rangkuman hasil uji kuat tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Pengujian tarik tulangan longitudinal

Diameter (mm)	Kuat leleh (MPa)	Kuat tarik (MPa)
6	256,90	361,25
12	320,05	452,45

5.1.3. Hasil Uji Desak Kolom

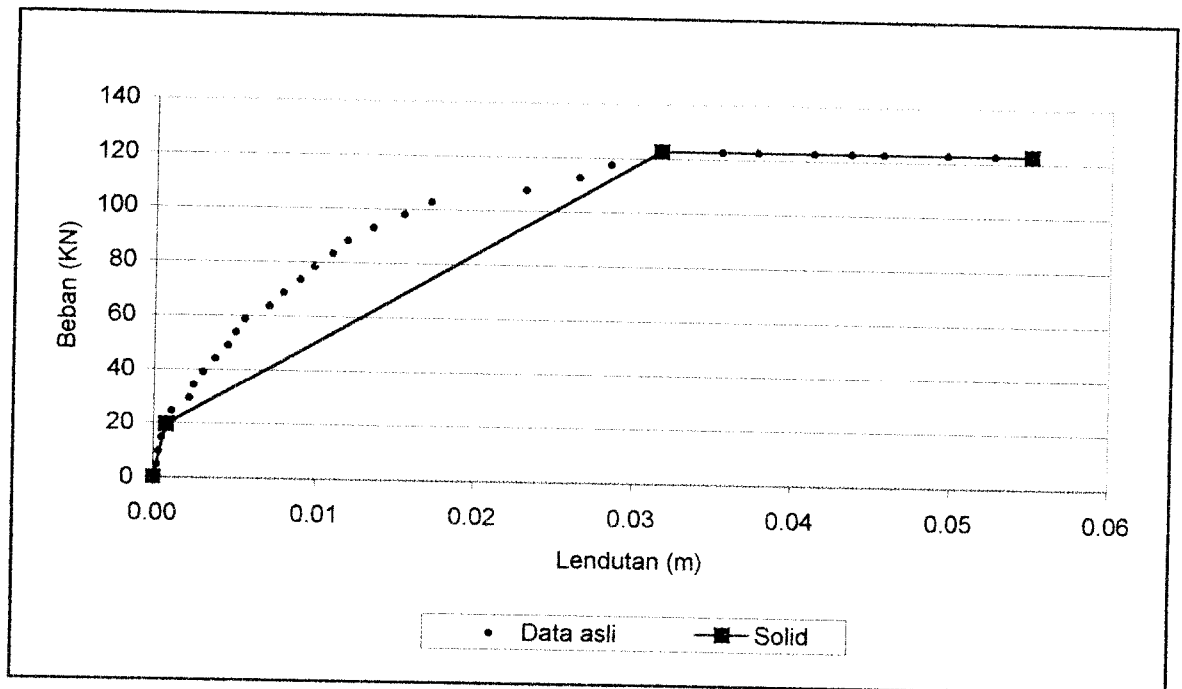
1. Hubungan beban dengan lendutan

Setelah dilakukan uji desak kolom normal selanjutnya dilakukan uji desak kolom berongga dengan variasi rongga 25,4 mm ; 38,1 mm ; 50,8 mm. Pelaksanaan uji kuat desak dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pada pengujian kuat desak ini, kolom normal (tanpa rongga) diberikan pembebanan dengan memberi beban pada konsul yang memberi eksentrisitas sebesar 20 cm. Secara bertahap kolom diberi beban dengan kenaikan sebesar 0,5 ton, kemudian setiap tahap pembebanan lendutan terjadi dicatat, hasilnya disajikan pada tabel 5.3.

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Desak Kolom Normal

Beban (KN)	Defleksi Lateral (m)		
	Dial II Kolom III (x 10 ⁻⁵)	Dial II Kolom I (x 10 ⁻⁵)	Rata-rata (x 10 ⁻⁵)
0,00	0	0	0
4,90	22	24	23
9,81	34	36	35
14,71	46	54	50
19,61	75	77	76
24,52	105	115	110
29,42	218	220	219
34,32	242	248	245
39,23	292	310	301
44,13	365	385	375
49,04	424	450	452
53,94	491	505	498
58,84	543	561	552
63,75	693	715	704
68,65	777	805	791
73,55	881	905	893
78,46	967	995	981
83,36	1077	1115	1096
88,26	1144	1234	1189
93,17	1290	1410	1350
98,07	1488	1604	1546
102,97	1627	1805	1716
107,88	2215	2415	2315
112,78	2592	2698	2645
117,68	2776	2914	2845
122,59	3110	3208	3159
122,59	3440	3652	3546
122,59	3541	3955	3768
122,59	3716	4532	4124
122,59	4083	4625	4354
122,59	4301	4817	4559
122,59	4923	5005	4964
122,59	5059	5475	5267
122,59	5197	5799	5498

Berdasarkan hasil pengujian kuat desak kolom normal yang terdapat dalam tabel 5.3. dapat digambarkan grafik hubungan beban lendutan ($P-\Delta$). Sedangkan grafik hubungan beban lendutan ($P-\Delta$) dapat dilihat pada Gambar 5.1. berikut ini.

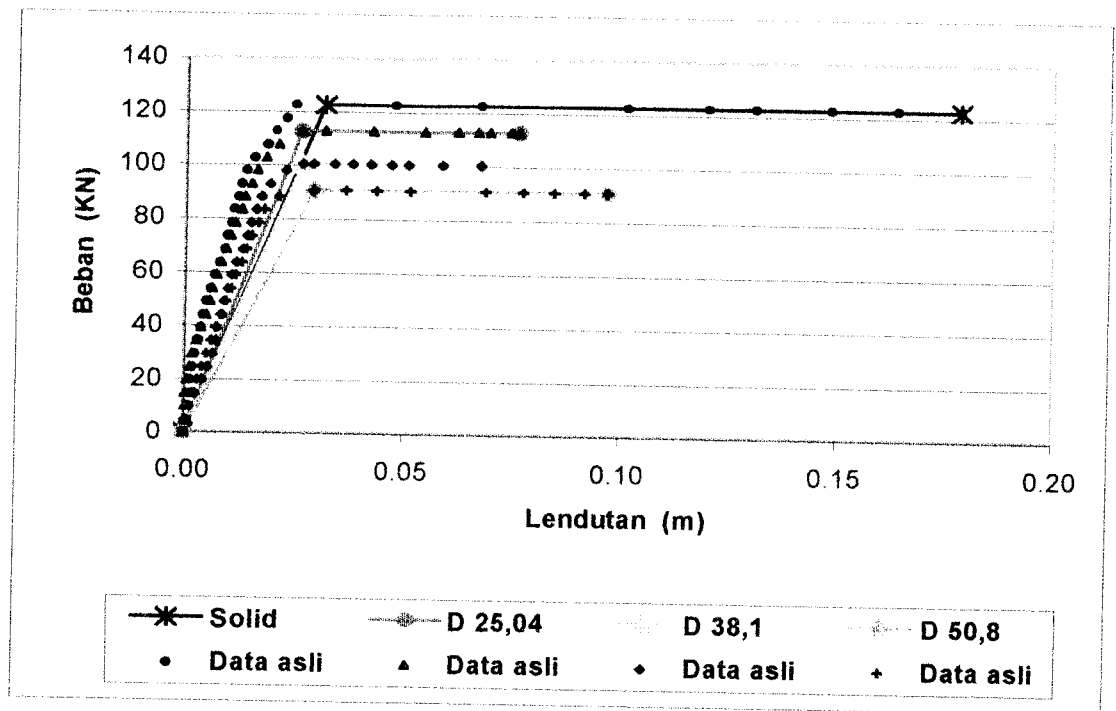


Gambar 5.1. Grafik bi-linier beban lendutan kolom normal

Hubungan beban lendutan uji kuat desak kolom berongga dengan diameter 25,4 mm ; 38,1 mm dan 50,8 ditunjukkan dalam lampiran 2. Dari data tersebut dibuat grafik hubungan beban lendutan dan momen kelengkungan .

2. Grafik beban lendutan kolom normal, kolom dan berongga

Grafik beban lendutan kolom normal, kolom dengan rongga berdiameter 25,4 mm ; 38,1 mm dan 50,8 mm ditunjukkan pada Gambar 5.2 (data lihat pada lampiran 7 hal 9).



Gambar 5.2. Grafik Bi-Linier beban lendutan kolom Normal, kolom dengan rongga berdiameter 25,4 mm ; 38,1 mm dan 50,8 mm

5.1.4. Hubungan Momen Dengan Kelengkungan

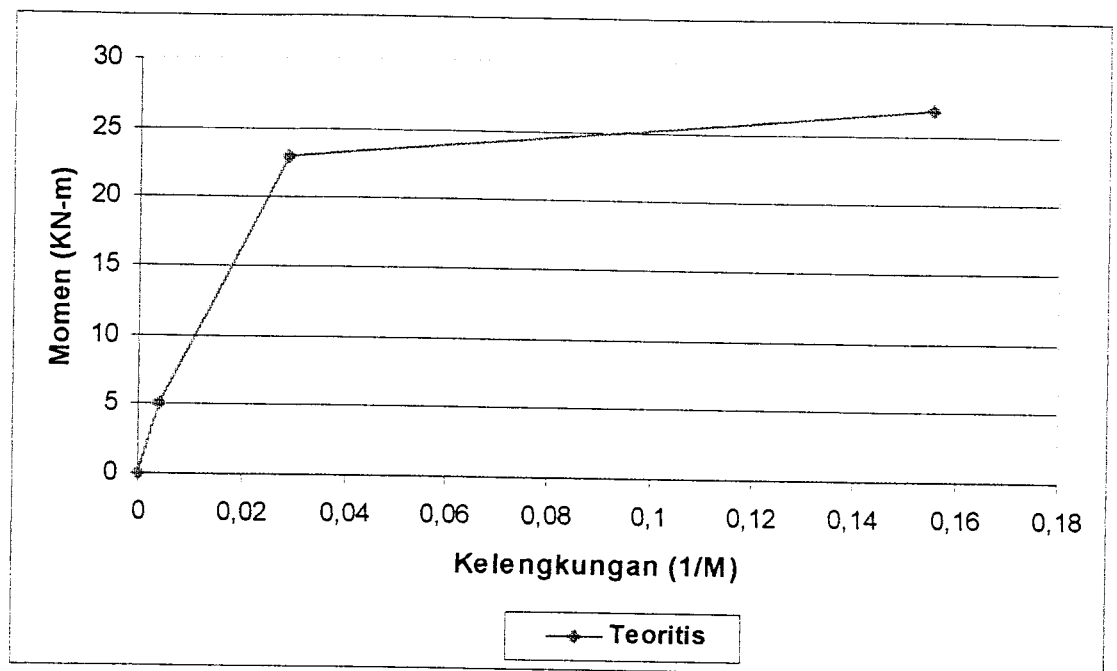
1. Momen kelengkungan teoritis

Mengacu pada tulisan **Park dan Pauley**, nilai momen dan kelengkungan dapat dihitung secara teoritis. Perhitungan momen kelengkungan disajikan pada lampiran 2. Sedangkan hasilnya bisa dilihat pada tabel 5.4 dan kurva tri-linearanya dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Tabel 5.3. Hasil Perhitungan Momen Kelengkungan Teoritis

M_{cr} (KN-mm)	Φ_{cr} (rad/mm)	M_y (KN-mm)	Φ_y (rad/mm)	M_u (KN-mm)	Φ_u (rad/mm)
4,978	$3,85 E^{-3}$	22,995	$2,88 E^{-2}$	26,875	$17,5 E^{-2}$

Dari data perhitungan momen kelengkungan dapat digambarkan kurva tri-linear yang dijadikan pembandingan dengan momen kelengkungan kolom normal. (hitungan lihat pada lampiran 18 hal 20)



Gambar 5.3. Grafik Tri-Linear Momen Kelengkungan Teoritis

2. Momen Kelengkungan Hasil Penelitian

Dari uji kuat desak didapat data primer berupa beban P dan lendutan Δ . Dari data tersebut dapat diketahui data momen, kelengkungan dan faktor kekakuan. Hubungan momen, kelengkungan dan faktor kekakuan menurut Themoshenko adalah :

$$\Phi = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (5.1)$$

Peningkatan kelengkungan bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat sisa lentur kolom bertulang yang mengalami kerusakan. Kelengkungan kolom diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *central difference* dengan Φ didapat dari persamaan kelengkungan pada bab III sub bab 3.3.

3. Grafik Momen Kelengkungan Kolom Normal

Dari hasil data penelitian diperoleh grafik P- Δ , sehingga dapat ditentukan momen dan kelengkungan untuk kolom normal. Sedangkan grafik hubungan M- Φ dapat digunakan untuk menentukan faktor kekakuan.

Yaitu dengan membandingkan kuat lentur pada kolom normal, dengan kuat desak pada kolom yang mempunyai rongga sesuai dengan variasi diameter rongga tersebut.

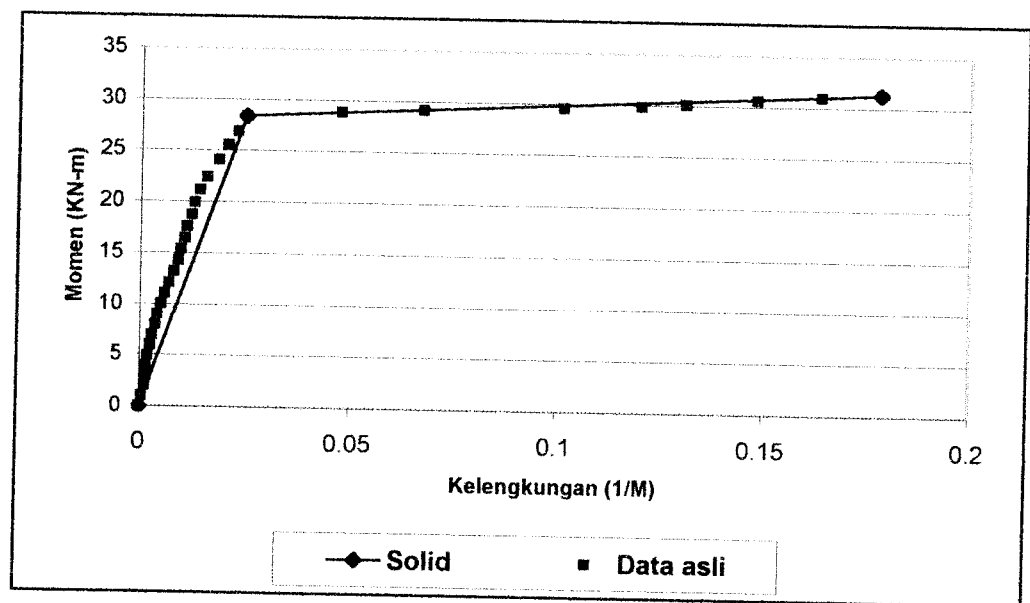
Tabel 5.4. Hubungan Momen Kelengkungan Kolom Normal

Beban (KN)	Defleksi Lateral (m)			Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/M)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00000
4,90	0,00020	0,00023	0,00018	0,98	0,00057
9,81	0,00025	0,00035	0,00028	1,96	0,00121
14,71	0,00043	0,00050	0,00039	2,95	0,00128
19,61	0,00067	0,00076	0,00065	3,94	0,00142
24,52	0,00095	0,00110	0,00100	4,93	0,00178
29,42	0,00205	0,00219	0,00198	5,95	0,00249
34,32	0,00215	0,00245	0,00235	6,95	0,00284
39,23	0,00281	0,00301	0,00271	7,96	0,00356
44,13	0,00352	0,00375	0,00341	8,99	0,00405
49,04	0,00413	0,00452	0,00423	10,03	0,00484
53,94	0,00495	0,00498	0,00420	11,06	0,00576
58,84	0,00512	0,00552	0,00498	12,09	0,00668
63,75	0,00683	0,00704	0,00615	13,20	0,00782
68,65	0,00742	0,00791	0,00715	14,27	0,00889
73,55	0,00835	0,00893	0,00818	15,37	0,00946

Lanjutan

78,46	0,00915	0,00981	0,00902	16,46	0,01031
83,36	0,01025	0,01096	0,01015	17,59	0,01081
88,26	0,01113	0,01189	0,01098	18,70	0,01188
93,17	0,01295	0,01350	0,01229	19,89	0,01252
98,07	0,01475	0,01546	0,01425	21,13	0,01365
102,97	0,01622	0,01716	0,01595	22,36	0,01529
107,88	0,02261	0,02315	0,02115	24,07	0,01806
112,78	0,02570	0,02645	0,02435	25,54	0,02027
117,68	0,02728	0,02845	0,02645	26,88	0,02254
122,59	0,03028	0,03159	0,02945	28,39	0,02453
122,59	0,03294	0,03546	0,03128	28,86	0,04764
122,59	0,03321	0,03768	0,03265	29,14	0,06756
122,59	0,03478	0,04124	0,03345	29,57	0,10133
122,59	0,03525	0,04354	0,03495	29,85	0,12004
122,59	0,03689	0,04559	0,03589	30,11	0,13084
122,59	0,03921	0,04964	0,03923	30,60	0,14820
122,59	0,04136	0,05267	0,04097	30,97	0,16363
122,59	0,04389	0,05498	0,04102	31,26	0,17813

Berdasarkan tabel 5.4. dapat digambarkan grafik hubungan momen kelengkungan, sedangkan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.4 yang merupakan grafik momen kelengkungan kolom normal (lihat pada lampiran 15 hal 17)

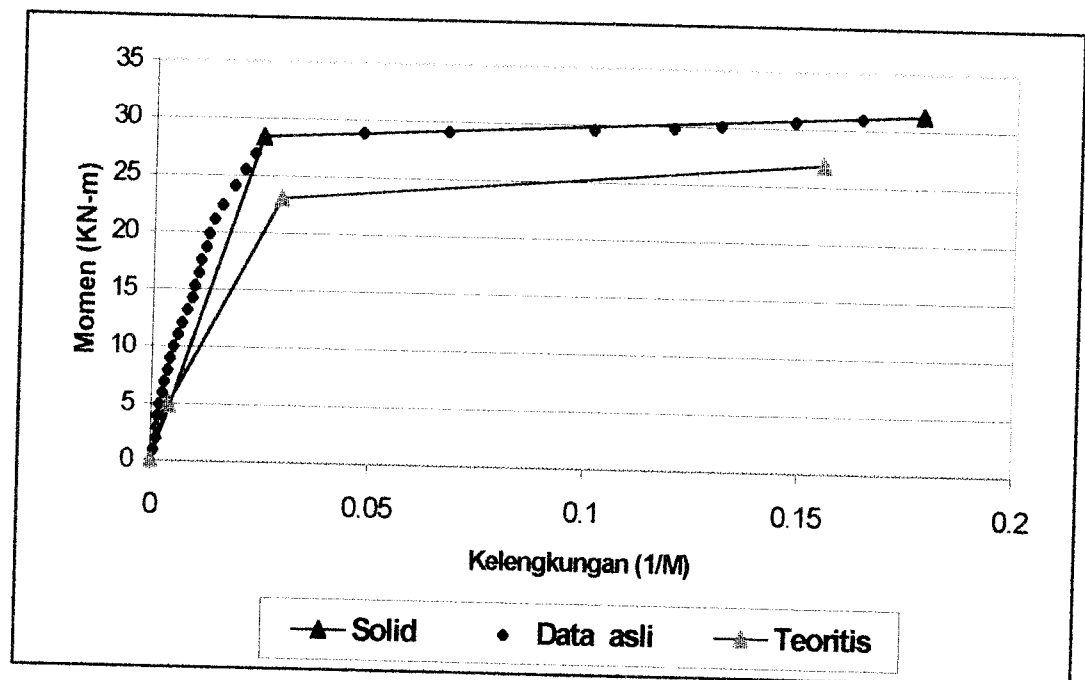


Gambar 5.4. Grafik Bi-Linier Momen Kelengkungan Kolom Normal

Hubungan momen kelengkungan kolom dengan rongga diameter 25,4 mm, 38,1 mm dan 50,8 mm ditunjukkan pada lampiran 3. Dari data tersebut kemudian dibuat grafik hubungan momen kelengkungan untuk masing-masing benda uji tersebut.

4. Grafik kelengkungan kolom normal secara teoritis dengan momen kelengkungan hasil penelitian.

Grafik kelengkungan kolom normal dan momen kelengkungan secara teoritis ditunjukkan pada Gambar 5.5.

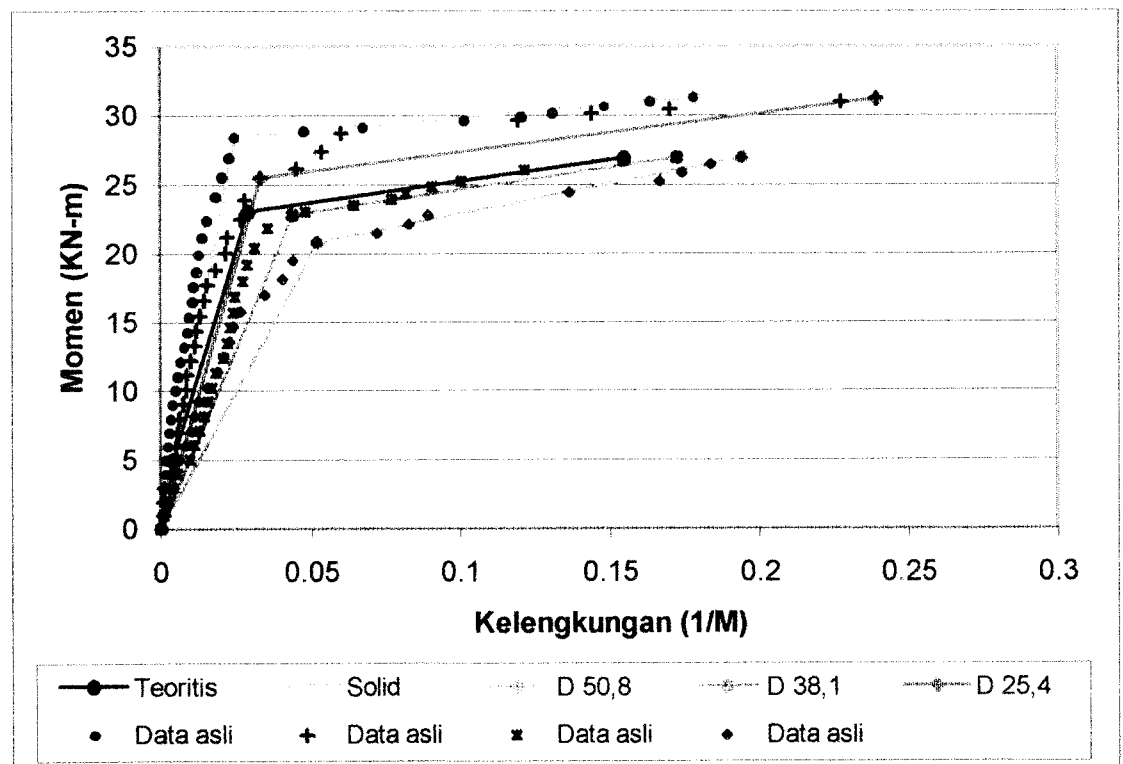


Gambar 5.5. Grafik Perbandingan Momen Kelengkungan Kolom Normal dan Teoritis.

Pada plotting momen kelengkungan terlihat grafik teoritis lebih rendah dari grafik kenyataan (normal) karena kuat tarik beton dalam perhitungan diabaikan. Sedangkan pada kenyataan beton mempunyai kuat tarik, sehingga grafik lebih tinggi dari perhitungan.

5. Grafik momen kelengkungan kolom normal, dan kolom berongga

Grafik Momen Kelengkungan Kolom Normal, Kolom Rongga Diameter 25,4 mm ; 38,1 mm dan 50,8 mm ditunjukkan pada Gambar 5.6. (lihat pada lampiran 15 hal 17)



Gambar 5.6. Grafik Perbandingan Momen Kelengkungan Teoritis, Kolom Normal dan Kolom Rongga Berdiameter 25,4 mm, 38,1 dan 50,8 mm.

5.2. Pembahasan

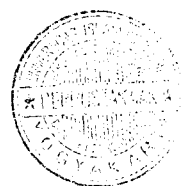
5.2.1. Pembahasan kapasitas kolom ditinjau dari hubungan beban dengan lendutan

Dari penelitian didapatkan hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ), dalam hal ini nilai kekakuan. Nilai kekakuan didapat dari P/Δ , kekakuan kolom pada kolom berongga secara umum mempunyai kekakuan yang berbeda dengan kolom solid. Hal ini dapat dilihat dari pola grafik yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium.

Pada perbandingan grafik lendutan kolom normal dengan grafik lendutan kolom berongga dianggap mempunyai kuat desak dan kelengkungan 100%. Sedangkan grafik dengan lendutan kolom yang berongga dibandingkan dengan kolom solid dapat diketahui besar penurunan kapasitas dalam persen (%). Dari hasil penelitian tersebut dapat diperoleh angka penurunan kapasitas dari kolom berongga tersebut dibanding dengan kolom normal.

Pada kolom berongga dengan diameter rongga $506,5 \text{ mm}^2$ (1,56%), $1139,5 \text{ mm}^2$ (3,52%) dan 2025 mm^2 (6,25%) akan mengalami penurunan kapasitas kuat desak sebesar 92 %, 82 %, dan 78%. Hal tersebut membuktikan bahwa kolom beton akan mengalami penurunan kapasitas apabila ada rongga, tetapi apabila rongganya sangat kecil, maka pengurangan kapasitas tidak begitu berpengaruh.

Semakin besar beban yang diberikan terhadap kolom, maka semakin besar pula nilai lendutan yang terjadi, begitu juga hubungannya dengan rongga semakin besar rongga yang ada pada kolom maka lendutan yang terjadi akan lebih besar dibandingkan dengan lendutan yang terjadi pada kolom tanpa rongga.



5.2.2. Penurunan Momen dan Faktor Kekakuan Ditinjau Dari Grafik Momen Kelengkungan

Hubungan momen kapasitas dan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan dapat dilihat pada lampiran 2. Dalam hal ini didapat dari M/ϕ , faktor kekakuan pada kolom berongga secara umum mempunyai perilaku berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik M/ϕ yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium. Pada perbandingan grafik momen kekakuan kolom normal dengan grafik kekakuan kolom normal dengan grafik momen kekakuan kolom berongga, pada grafik momen kelengkungan kolom normal dianggap mempunyai faktor kekakuan 100%. Sedangkan grafik momen kelengkungan kolom berongga dibandingkan grafik kelengkungan kolom normal dapat diketahui besarnya faktor kekakuan dalam persen (%) seperti disebutkan dalam tabel (5.5.) berikut :

Tabel 5.5. Analisa Data

Sampel Kolom	M (kN – m)	ϕ (m^{-1})	EI (KN- m^2)	M (%)	EI (%)
Normal	28,39	0,02453	1157,36	100	100
Berongga diameter 25,4 mm	25,49	0,0307	770,79	89,01	68,71
Berongga diameter 38,1 mm	22,75	0,04359	521,91	80,52	55,00
Berongga diameter 54,8 mm	20,78	0,05198	399,77	73,10	45,55

Dari tabel 5.5 dapat dilihat terjadinya penurunan momen dan faktor kekakuan. Sedangkan penurunan yang terjadi adalah sebesar :

Pada kolom berongga dengan diameter 506,5 mm² (1,56%) mengalami penurunan momen sebesar 10,99% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 31,29%.

Pada kolom berongga dengan diameter 1139,5 mm² mengalami penurunan momen sebesar 19,48 % dan penurunan faktor kekakuan sebesar 45%.

Pada kolom berongga dengan diameter 2025,8 mm² mengalami penurunan momen sebesar 26,9 % dan penurunan faktor kekakuan sebesar 54,45%.

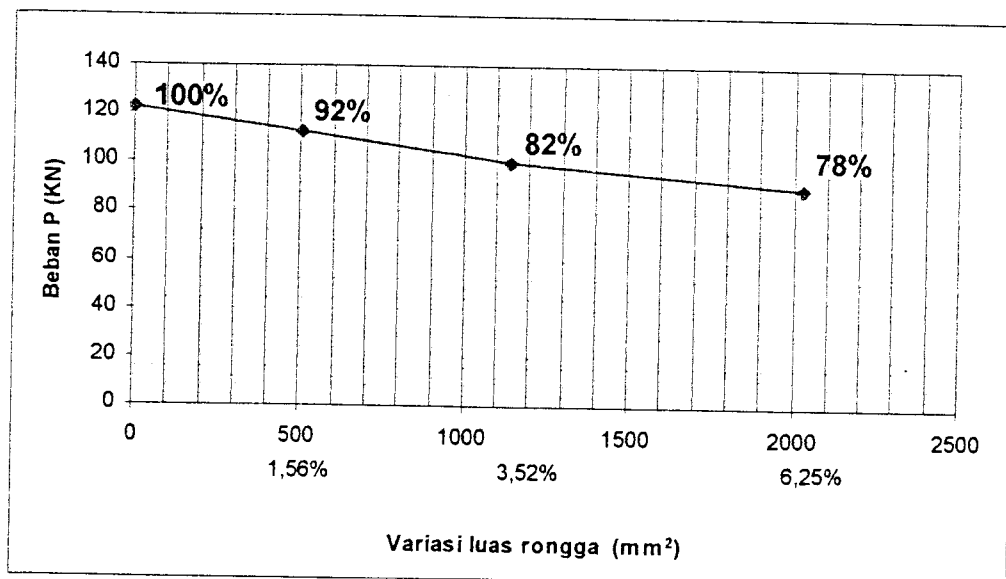
5.2.3. Penurunan kapasitas kolom ditinjau dari hubungan beban dengan luas rongga.

Semakin besar diameter pipa / rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban eksentris, akan semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal dari kolom tersebut. Hal ini dapat dilihat pada tabel 5.6 di bawah ini :

Tabel 5.6. Hitungan Beban dan Luas Rongga

P (KN)	122,58	112,78	100,52	90,71
P (%)	100	92	82	78
Luas Rongga (mm ²)	0	506,5	1139,5	2025,8
Luas Rongga (%)	0	1,56	3,52	6,25

Dari tabel di atas dapat dibuat gambar grafik hubungan beban dengan luas rongga sebagai berikut :



Gambar 5.7. Grafik Prosentase penurunan beban terhadap variasi luas rongga

Pada kolom berongga dengan luas rongga $506,5 \text{ mm}^2$ (1,565%), kuat aksial yang dapat ditahan adalah 112,780 kN (92%), berkurang sebesar 8 % dari beban aksial nominal yang dapat ditahan kolom tanpa rongga. Untuk luas rongga $1139,5 \text{ mm}^2$ (3,52%) kuat aksial nominal yang dapat ditahan adalah 100,520 kN (82%), berkurang sebesar 18 % dari beban aksial nominal yang dapat ditahan kolom tanpa rongga. Untuk luas rongga $2025,8 \text{ mm}^2$ (6,25%), kuat aksial yang dapat ditahan adalah 90,710 kN (78%), berkurang sebesar 22 % dari kuat aksial nominal yang dapat ditahan oleh kolom tanpa rongga. Hal tersebut membuktikan bahwa kolom beton akan mengalami penurunan kapasitas apabila terjadi pengurangan luas efektif beton (rongga). Apabila rongganya sangat kecil maka pengurangan kapasitas tidak begitu berpengaruh.

5.2.4. Penurunan Kapasitas Kolom ditinjau dari hubungan Beban dengan Kelangsingan

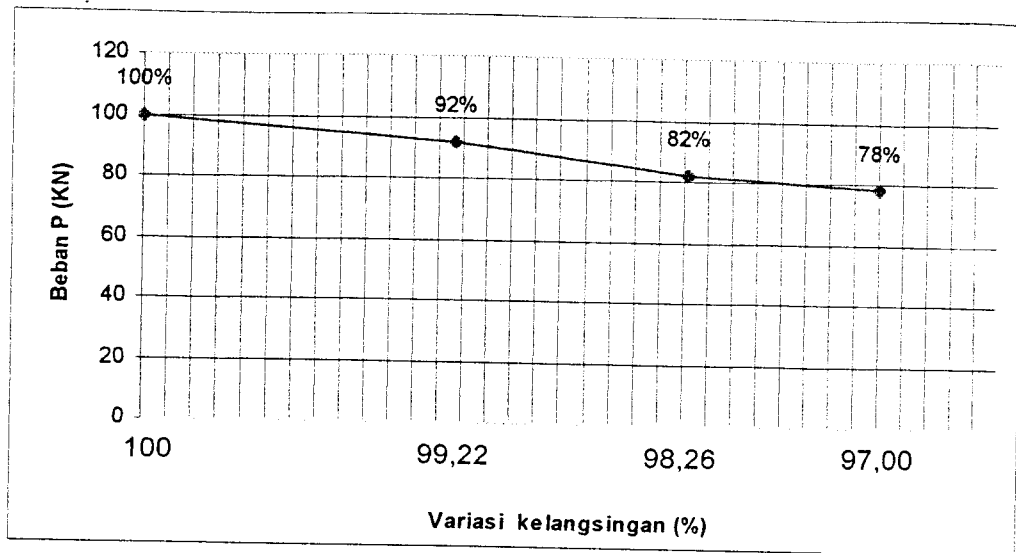
Semakin besar luar rongga yang terdapat dalam kolom, semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal dan nilai kelangsingan semakin kecil, dalam perhitungan inersia luas tulangan diabaikan karena dianggap luasannya kecil.

Hal ini dapat dilihat pada tabel 5.7. di bawah ini :

Tabel 5.7. Hitungan Beban dan kelangsingan

P (KN)	122,58	112,78	100,52	90,71
P (%)	100	92	82	78
Klu/r	28,868	28,644	28,366	28,003
Klu/r (%)	100	99,22	98,26	97,00

Dari tabel di atas dapat dibuat gambar grafik hubungan beban dengan kelangsingan sebagai berikut :



Gambar 5.7. Grafik Prosentase Penurunan Beban terhadap variasi kelangsingan

Pada kolom tanpa rongga (0%) nilai kelangsingan 28,868 (100%), untuk kelas rongga 1,56 % kelangsingan 28,644 (99,22%), untuk luas rongga 3,52 % nilai kelangsingan 28,366 (98,26%) sedangkan luas rongga 6,25% nilai kelangsingan 28,003 (97%). Ini berarti semakin besar luas rongga yang terdapat dalam penampang kolom semakin kecil nilai kelangsingan dan kuat aksial yang dapat ditahan semakin kecil

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari penelitian kolom uji dapat diambil kesimpulan mengenai perilaku kolom beton bertulang berongga dengan variasi rongga dengan luas $506,5 \text{ mm}^2$ (1,56%) ; $1139,5 \text{ mm}^2$ (3,52%) dan $2025,8 \text{ mm}^2$ (6,25%) sebagai berikut :

1. Semakin besar diameter pipa / rongga yang terdapat pada kolom yang mendapat beban eksentris, akan semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal dari kolom tersebut (lihat Gambar 5.7).
2. Semakin besar rongga akan semakin kecil kolom akan mengalami momen dibandingkan kolom tanpa rongga (lihat Gambar 5.6).
3. Kolom berlubang sampai dengan diameter lubang maksimal $2025,8 \text{ mm}^2$ (6,25%) pada tingkat eksentrisitas 200 mm telah menunjukkan penurunan momen dan tingkat kekakuan yang relatif besar (lihat Tabel 5.5).
4. Nilai momen masing-masing yang dihasilkan dari eksentrisitas yang sama pada kolom berongga luas $506,5 \text{ mm}^2$ (1,56%) ; $1139,5 \text{ mm}^2$ (3,52%) dan $2025,8 \text{ mm}^2$ (6,25%) secara berurutan sebesar 25,49 KN-m (89,01%), 22,75 KN-m (89,52%), 20,78 KN-m (20,78%), dan kolom solid menghasilkan momen sebesar 28,29 KN-m (100%).
5. Sampai pada luas rongga $2025,8 \text{ mm}^2$ (6,25%) kolom belum menunjukkan *buckling failure* sampai beban batasnya.

6.2 Saran

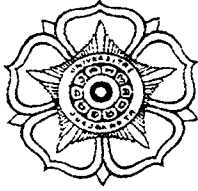
Dari hasil penelitian kolom langsing solid dan berongga maka disarankan :

1. Pengocaran benda uji pada sampel yang sama hendaknya dibuat dalam satu adukan beton, sehingga dapat diketahui perbedaan perilaku pembebanan sampai mencapai bebas batas secara baik.
2. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca dial pembebanan dan munculnya retak sehingga diperoleh data yang valid.
3. Perlu dikaji ulang untuk dimensi kolom yang lain sebagai pembanding.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan antar lain terhadap variabel : (1) rasio lubang yang lebih besar untuk mengetahui batas kelangsingan kolom, mengingat semakin besar lubang kelangsingan (klu/r) justru semakin mengecil. (2) Kolom dengan pembebanan biaksial, hal ini mengingat sering dijumpai dalam praktek.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- _____, 1991, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SKSNI T- 15 - 1991 - 03, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- _____, 1990, *Standar Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Edward G. Nawy, 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Diterjemahkan oleh Bambang Suryo Atmo. Eresco, Bandung.
- Istimawan Dipo Husodo, 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Ferguson, Phil. M, 1981, *Reinforced Concrete Fundamentals*, SI Version, John Wiley & Sons. Inc. New York.
- Park. R. dan Paulay, T, 1975, *Reinforced Concrete Structure*, John Wiley & Sons Inc. New York.
- Bambang BS dan M. Arif S, 1997, *Analisis Penampang Beton Bertulang Berongga Pada Struktur Kolom*, Skripsi Program S1, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Supriyadi, 1997, *Pengaruh Rasio Tulangan dan Rongga Pada Kuat Batas Kolom Beton Bertulang*, Tesis Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- R.W. Poston dkk, 1985, *Hollow Concrete Bridge Pier Behavior*, ACI Journal, hal 779 (Edisi November- Desember 1985)
- R.W. Poston dkk, 1985, *Analisis of Nonprismatic or Hollow Slender Concrete Bridge Piers*, ACI Journal, hal 731 (Edisi September - Oktober 1985)

LAMPIRAN



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN

Bulaksumur, Yogyakarta, Telepon : 902241

DATA PEMERIKSAAN
GRADASI AGREGAT KASAR

Jenis Benda Uji :	Diperiksa oleh:	
Nama Benda Uji :	1. Zulpan Azmi	93 310 292
Asal :	2. Budi Santosa	90 310 174
Keperluan :	Tugas Akhir	
Tanggal :		

Alat-alat:

1. Timbangan kapasitas 20 kg,
2. Mesin penggetar / mesin ayak,
3. Saringan 1 set (40, 20, 10, 4.80, 2.40, 1.20, 0.60, 0.30, 0.15, pan)mm,
4. Sikat baja (kasar / halus),
5. Kuas, lap kaos,
6. Piring, serok, dll.

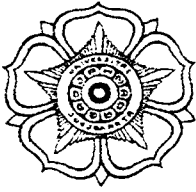
Lubang Ayakan {mm}	Berat Tertinggal {gram}		Berat Tertinggal {%}		Berat Tertinggal Kumulatif	
	I	II	I	II	I	II
Percobaan Ke						
40	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
4.80	6	5	0.3	0.25	0.3	0.25
2.40	152	157	7.6	7.85	7.9	8.1
1.20	553	554	27.65	27.70	35.55	35.80
0.60	675	681	33.75	34.05	69.30	69.85
0.30	354	351	17.70	17.55	87.00	87.40
0.15	191	181	9.55	9.05	96.55	96.45
Sisa	69	71	3.45	3.55	-	-
Jumlah	2000	2000	100%	100%	296.60	297.85
Jumlah rata-rata	2000		100%		297.23	

$$\text{Modulus Halus Butir} \rightarrow MHB = \frac{297.23}{100} = 2.97$$

Yogyakarta, _____

Kepala

Ir. Kardiono, ME
 NIP. 130 530 686



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN

Bulaksumur, Yogyakarta, Telepon : 902241

DATA PEMERIKSAAN
BERAT VOLUME AGREGAT HALUS

Jenis Benda Uji :	Diperiksa oleh:	
Nama Benda Uji :	1. Zulpan Azmi	93 310 292
Asal :	2. Budi Santosa	90 310 174
Keperluan :	Tugas Akhir	
Tanggal :		

Alat-alat:

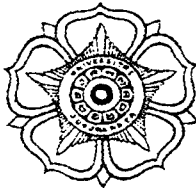
1. Timbangan kapasitas minimal 20 kg,
2. Cetakan silinder ($\varnothing 15 \times t 30$) cm,
3. Tongkat penumbuk $\varnothing 16$ mm panjang 60 mm,
4. Serok/cetok,
5. Dan lain-lain.

	Benda Uji I	Benda Uji II
Berat cetakan silinder (W_1)	5,628 Kg	5,628 Kg
Berat cetakan silinder + Agregat (W_2)	13,655 Kg	13,483 Kg
Volume Silinder (V) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$	$5,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	$5,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
Berat volume agregat = $\frac{W_2 - W_1}{V}$	$\frac{13,655 - 5,628}{5,3 \times 10^{-3}} = 1,51 \text{ T/m}^3$	$\frac{13,483 - 5,628}{5,3 \times 10^{-3}} = 1,48 \text{ T/m}^3$
Berat Volume Agregat Rata-rata	$\frac{1,51 + 1,48}{2} = 1,495 \text{ T/m}^3$	

Yogyakarta, _____

Kepala

Ir. Kardiono, ME
NIP. 130 530 686



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN

Bulaksumur, Yogyakarta, Telepon : 902241

DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Jenis Benda Uji :	Diperiksa oleh:	
Nama Benda Uji :	1. Zulpan Azmi	93 310 292
Asal :	2. Budi Santosa	90 310 174
Keperluan : Tugas Akhir		
Tanggal :		

Alat-alat:

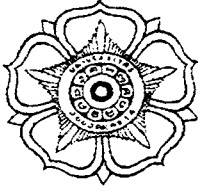
1. Gelas ukur kapasitas 1000 cc,
2. Timbangan ketelitian 0,01 gram,
3. Piring, sekop kecil.

	Benda Uji I	Benda Uji II
Berat Agregat (W)	500 gram	500 gram
Gelas Ukur + Air (V1)	500 cc	500 cc
Gelas Ukur + Air + Agregat (V2)	705 cc	700cc
Berat Jenis (BJ) = $\frac{W}{V2 - V1}$	$\frac{500}{705 - 500} = 2.43$	$\frac{500}{700 - 500} = 2.50$
Berat Jenis Rata-rata	$\frac{2.43 + 2.50}{2} = 2.465$	

Yogyakarta, _____

Kepala

Ir. Kardiono, ME
NIP. 130 530 686



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
Bulaksumur, Yogyakarta, Telepon : 902241

DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Jenis Benda Uji :
Nama Benda Uji :
Asal :
Keperluan : Tugas Akhir
Tanggal :

Diperiksa oleh:
1. Zulpan Azmi 93 310 292
2. Budi Santosa 90 310 174

Alat-alat:

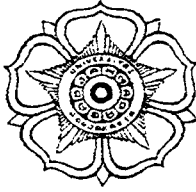
1. Gelas ukur kapasitas 1000 cc,
2. Timbangan ketelitian 0,01 gram,
3. Piring, sekop kecil.

	Benda Uji I	Benda Uji II
Berat Agregat (W)	500 gram	500 gram
Gelas Ukur + Air (V1)	500 cc	500 cc
Gelas Ukur + Air + Agregat (V2)	695 cc	690cc
Berat Jenis (BJ) = $\frac{W}{V2 - V1}$	$\frac{500}{695 - 500} = 2.56$	$\frac{500}{690 - 500} = 2.63$
Berat Jenis Rata-rata	$\frac{2.56 + 2.63}{2} = 2.59$	

Yogyakarta, _____

Kepala

Ir. Kardiono, ME
NIP. 130 530 686



**PUSAT ANTAR UNIVERSITAS (PAU)
UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN**

Bulaksumur, Yogyakarta, Telepon : 902241

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

No	Diameter pengenal (mm)	Diameter Uji (mm)	Luas (mm ²)	Beban luluh (Kgf)	Beban Maximum (Kgf)	Tegangan Luluh (Kg/mm ²)	Kuat Tarik (kg/mm ²)
1.	6,0	5,5	23,758	600	855	25,255	35,988
2.	6,0	5,5	23,758	620	860	26,096	36,198
3.	12,0	10,9	93,313	2960	4180	31,721	44,795
4.	12,0	10,9	93,313	3010	4260	32,257	45,653

PERENCANAAN CAMPURAN BETON

Kuat beton yang disyaratkan $f'c = 20$ Mpa

Volume pekerjaan sedang dengan mutu pekerjaan cukup

Beton di dalam ruangan dengan keadaan sekeliling non – korosif

Jenis struktur adalah kolom

Ukuran maksimum kerikil 20 mm

Berat volume agregat = $1,495 \text{ ton/m}^3$

Berat jenis kerikil = 2,59

Berat jenis pasir = 2,47

Modulus halus butir pasir (mhb) = 2,97

PERENCANAAN

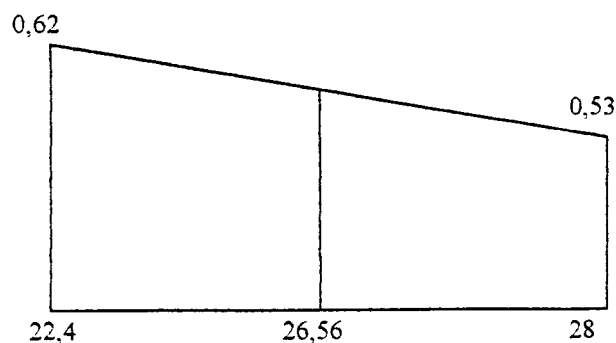
1. Menghitung mutu beton

$$S_d = 4 \text{ Mpa}$$

$$M = 1,64 \times S_d = 1,64 \times 4 = 6,56 \text{ Mpa}$$

$$F'_{cr} = f'c + m = 20 + 6,56 \text{ Mpa}$$

2. Menghitung nilai faktor air semen



$$\frac{0,62 - 0,53}{28 - 22,4} = \frac{\text{fas} - 0,53}{26,56}$$

$$\text{fas} = 0,553$$

$$\text{fas maksimum} = 0,60$$

3. Nilai Slam

Untuk struktur kolom nilai slam = 75 – 150 mm

4. Jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton

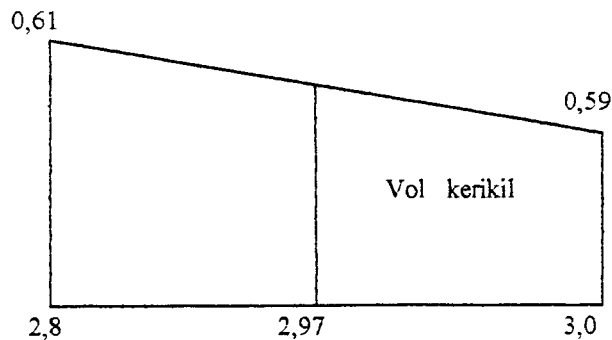
Berdasarkan nilai slam dan ukuran maksimal kerikil 20 mm, maka diperoleh kebutuhan air sebesar 203 lt atau 0,203 m³ dan udara terperangkap 2%.

5. Jumlah semen yang diperlukan per meter kubik beton

$$W_s = \frac{A}{\text{fas}} = \frac{0,203}{0,553} = 0,367 \text{ ton} = 367 \text{ kg}$$

6. Menghitung volumer kerikil

Berdasarkan ukuran maksimum kerikil 20 mm dan modulus halus butir pasir 2,97 maka diperoleh kebutuhan volumer kerikil :



$$\frac{0,31 - 0,59}{3,0 - 2,8} = \frac{x - 0,59}{3,0 - 2,97}$$

Jadi kebutuhan volumer kerikil adalah 0,593

$$\text{Berat kerikil } W_k = 1,5095 \times 0,593 = 0,895 \text{ ton} = 895 \text{ kg}$$

7. Jumlah volume absolut air, semen, kerikil dan udara.

$$\begin{aligned}V_a + V_s + V_k + V_u &= 0,203 + \frac{0,367}{3,15} + \frac{0,895}{2,63} + 0,02 \\ &= 0,203 + 0,117 + 0,340 + 0,02 \\ &= 0,680\end{aligned}$$

Volume absolut pasir

$$V_p = 1 - 0,680 = 0,320 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat pasir} = 0,320 \times 2,63 = 0,842 \text{ ton} = 842 \text{ kg}$$

8. Volume pekerjaan

Jadi 1 m³ beton dengan f'c = 20 Mpa memerlukan material sebanyak :

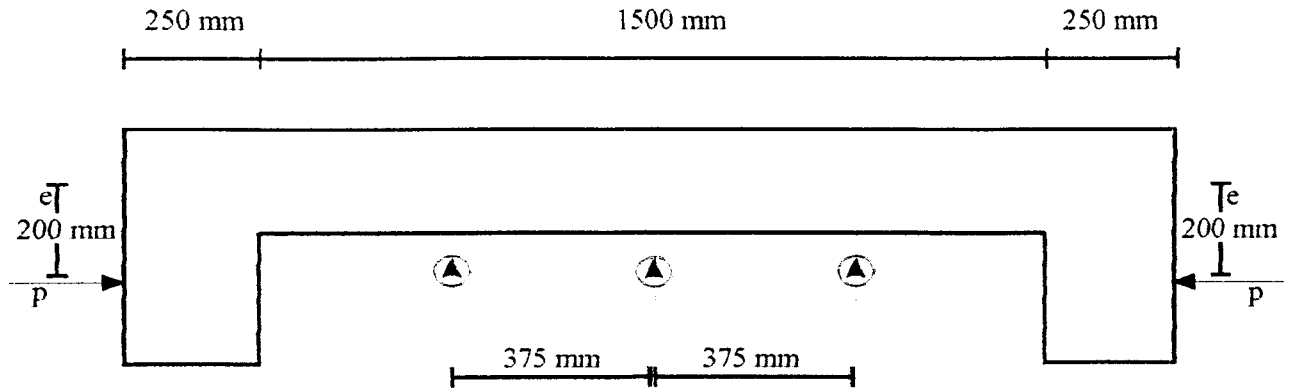
$$\text{Semen} = 367 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 895 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = 842 \text{ kg}$$

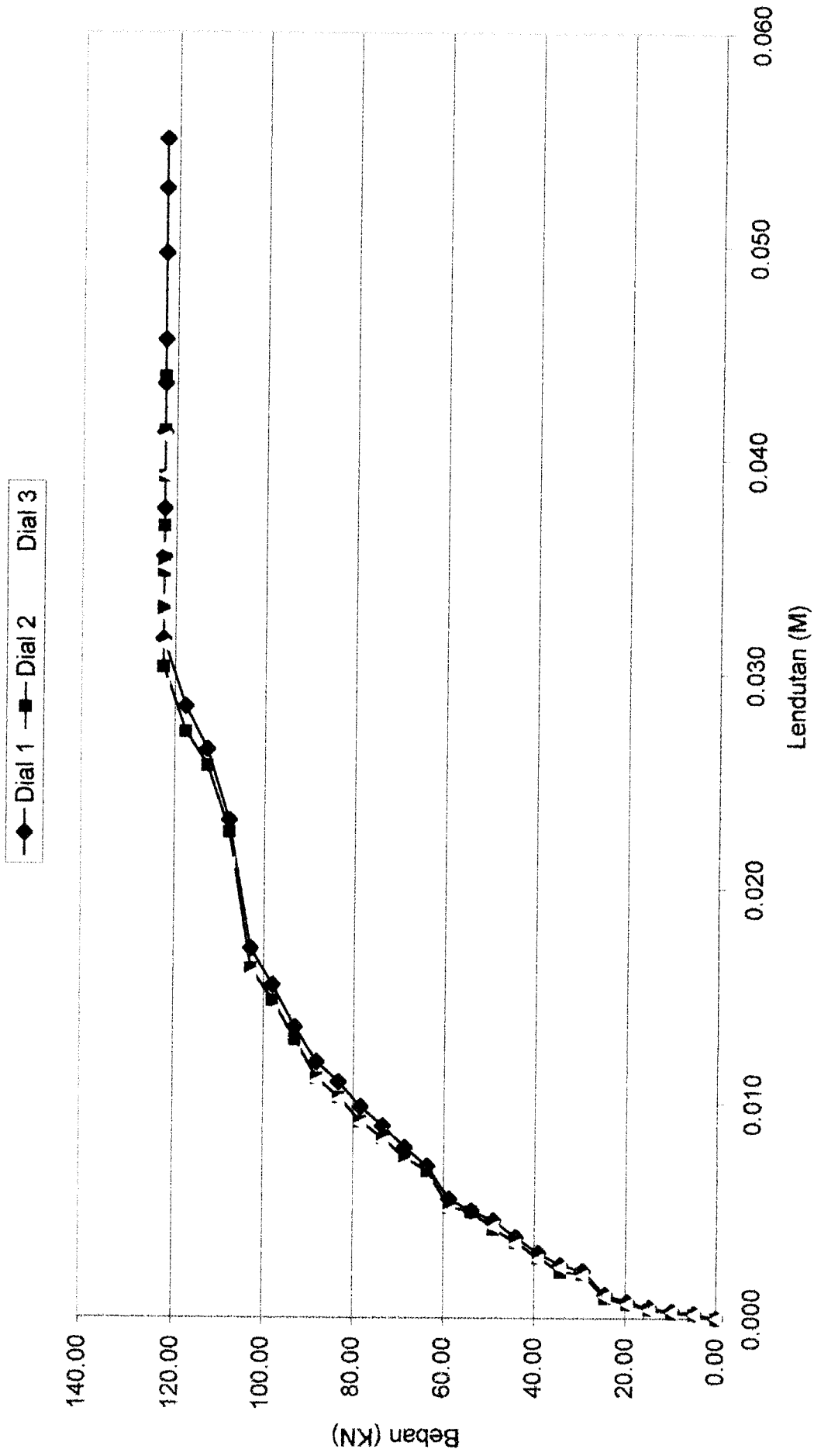
$$\text{Air} = 203 \text{ lt}$$

DATA UJI KUAT DESAK KOLOM LANGSING SOLID

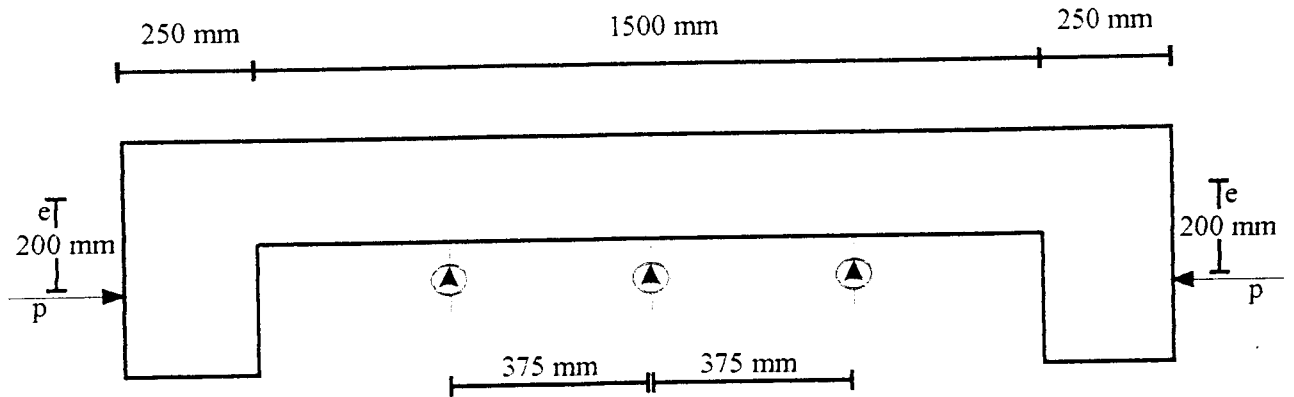


Beban (KN)	Dial (M)			Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/M)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00000
4,90	0,00020	0,00023	0,00018	0,98	0,00057
9,81	0,00025	0,00035	0,00028	1,96	0,00121
14,71	0,00043	0,00050	0,00039	2,95	0,00128
19,61	0,00067	0,00076	0,00065	3,94	0,00142
24,52	0,00095	0,00110	0,00100	4,93	0,00178
29,42	0,00205	0,00219	0,00198	5,95	0,00249
34,32	0,00215	0,00245	0,00235	6,95	0,00284
39,23	0,00281	0,00301	0,00271	7,96	0,00356
44,13	0,00352	0,00375	0,00341	8,99	0,00405
49,04	0,00413	0,00452	0,00423	10,03	0,00484
53,94	0,00495	0,00498	0,00420	11,06	0,00576
58,84	0,00512	0,00552	0,00498	12,09	0,00668
63,75	0,00683	0,00704	0,00615	13,20	0,00782
68,65	0,00742	0,00791	0,00715	14,27	0,00889
73,55	0,00835	0,00893	0,00818	15,37	0,00946
78,46	0,00915	0,00981	0,00902	16,46	0,01031
83,36	0,01025	0,01096	0,01015	17,59	0,01081
88,26	0,01113	0,01189	0,01098	18,70	0,01188
93,17	0,01295	0,01350	0,01229	19,89	0,01252
98,07	0,01475	0,01546	0,01425	21,13	0,01365
102,97	0,01622	0,01716	0,01595	22,36	0,01529
107,88	0,02261	0,02315	0,02115	24,07	0,01806
112,78	0,02570	0,02645	0,02435	25,54	0,02027
117,68	0,02728	0,02845	0,02645	26,88	0,02254
122,59	0,03028	0,03159	0,02945	28,39	0,02453
122,59	0,03294	0,03546	0,03128	28,86	0,04764
122,59	0,03321	0,03768	0,03265	29,14	0,06756
122,59	0,03478	0,04124	0,03345	29,57	0,10133
122,59	0,03525	0,04354	0,03495	29,85	0,12004
122,59	0,03689	0,04559	0,03589	30,11	0,13084
122,59	0,03921	0,04964	0,03923	30,60	0,14820
122,59	0,04136	0,05267	0,04097	30,97	0,16363
122,59	0,04389	0,05498	0,04102	31,26	0,17813

GRAFIK BEBAN LENDUTAN (P-v) KOLOM NORMAL

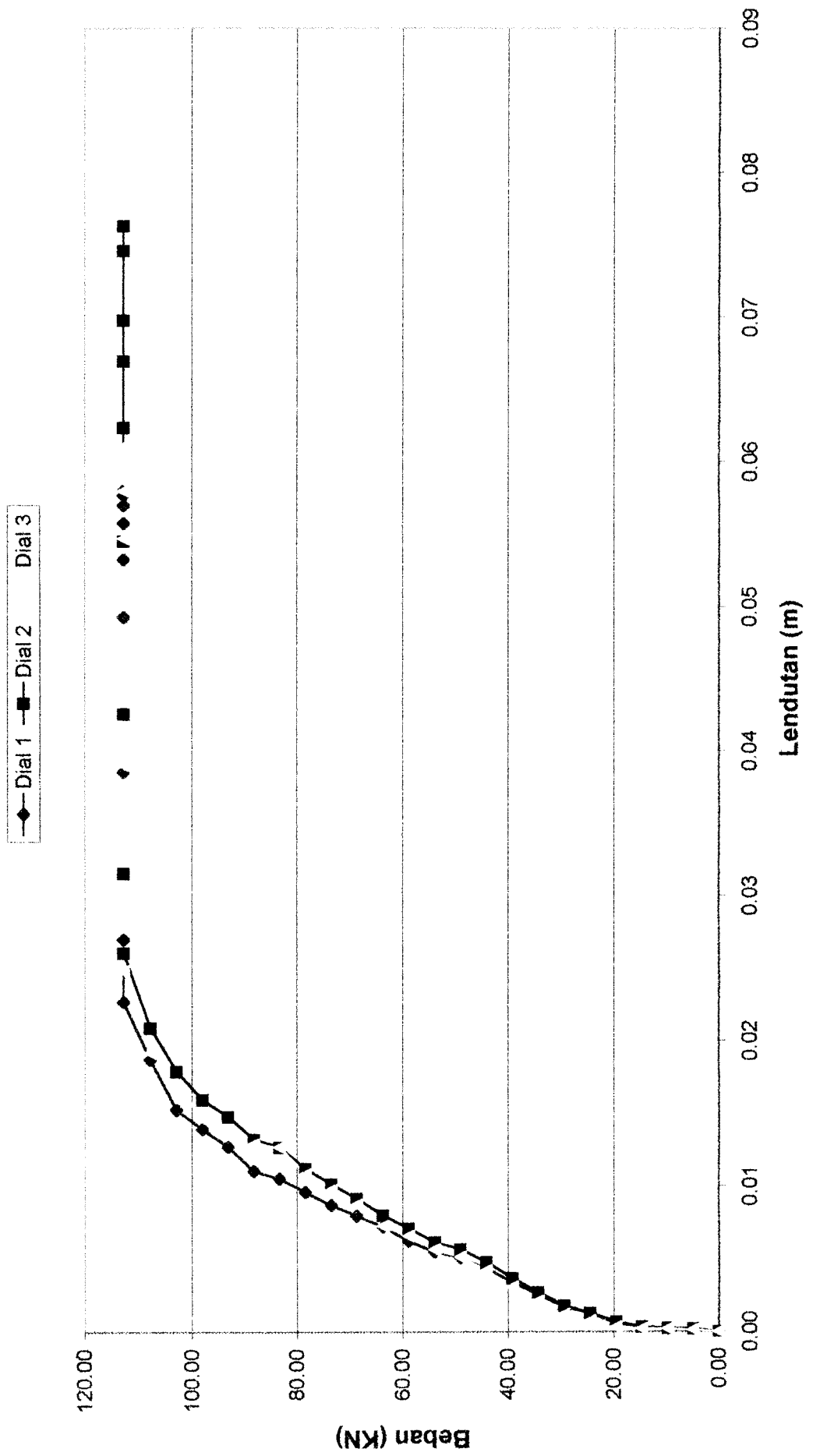


**DATA UJI KUAT DESAK KOLOM LANGSING
BERONGGA DIAMETER 25,4 mm**

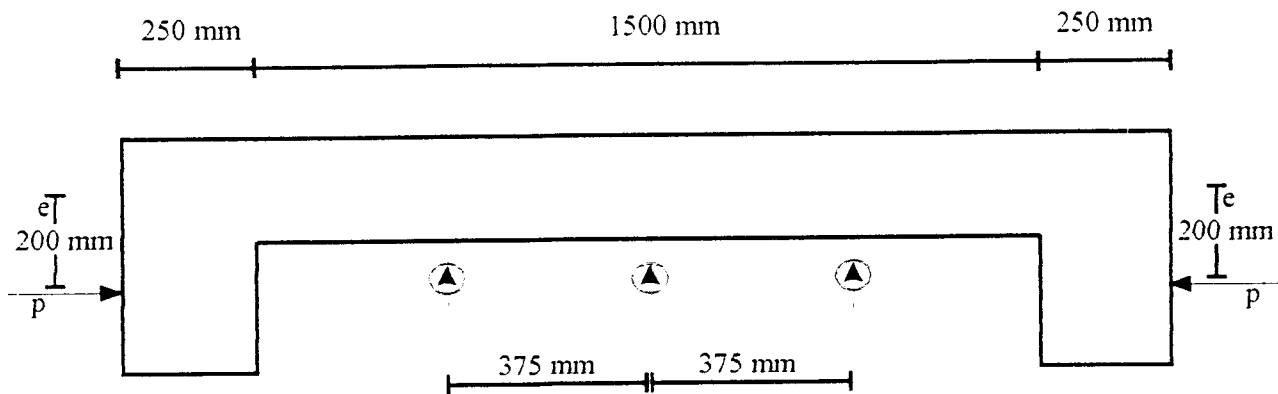


Beban (KN)	Dial (M)			Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/M)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00000
4,90	0,00017	0,00021	0,00011	0,98	0,00100
9,81	0,00020	0,00027	0,00019	1,96	0,00107
14,71	0,00031	0,00035	0,00021	2,95	0,00128
19,61	0,00057	0,00068	0,00032	3,94	0,00334
24,52	0,00125	0,00127	0,00075	4,93	0,00384
29,42	0,00168	0,00180	0,00120	5,94	0,00512
34,32	0,00254	0,00272	0,00210	6,96	0,00569
39,23	0,00340	0,00368	0,00309	7,99	0,00619
44,13	0,00432	0,00478	0,00420	9,04	0,00740
49,04	0,00506	0,00568	0,00512	10,09	0,00839
53,94	0,00546	0,00615	0,00565	11,12	0,00846
58,84	0,00620	0,00709	0,00658	12,19	0,00996
63,75	0,00720	0,00802	0,00726	13,26	0,01124
68,65	0,00795	0,00915	0,00872	14,36	0,01159
73,55	0,00870	0,01014	0,00976	15,46	0,01294
78,46	0,00958	0,01120	0,01080	16,57	0,01436
83,36	0,01050	0,01265	0,01265	17,73	0,01529
88,26	0,01100	0,01321	0,01289	18,82	0,01799
93,17	0,01268	0,01478	0,01385	20,01	0,02155
98,07	0,01395	0,01597	0,01489	21,18	0,02204
102,97	0,01525	0,01789	0,01683	22,44	0,02631
107,88	0,01870	0,02089	0,01917	23,83	0,02780
112,78	0,02265	0,02605	0,02480	25,49	0,03307
112,78	0,02695	0,03159	0,02987	26,12	0,04523
112,78	0,03852	0,04254	0,03902	27,35	0,05362
112,78	0,04925	0,05451	0,05129	28,70	0,06030
112,78	0,05324	0,06237	0,05470	29,59	0,11947
112,78	0,05575	0,06697	0,05798	30,11	0,14372
112,78	0,05697	0,06978	0,05864	30,43	0,17031
112,78	0,05764	0,07461	0,05964	30,97	0,22713
112,78	0,05799	0,07631	0,06105	31,16	0,23879

GRAFIK BEBAN LENDUTAN KOLOM DENGAN VARIASI RONGGA BERTDIAMETER D 25,4 mm

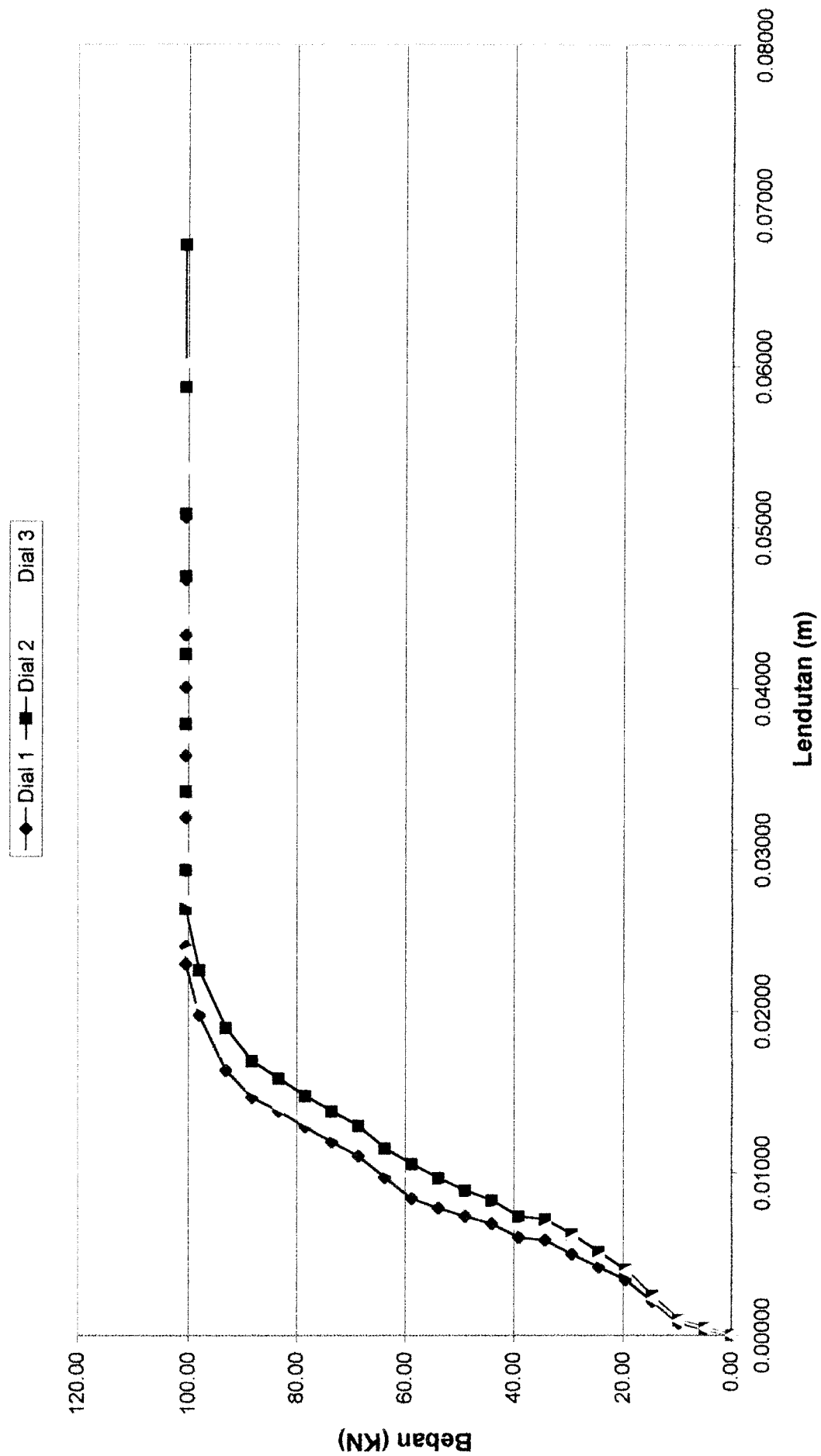


**DATA UJI KUAT DESAK KOLOM LANGSING
BERONGGA DIAMETER 38,1 mm**

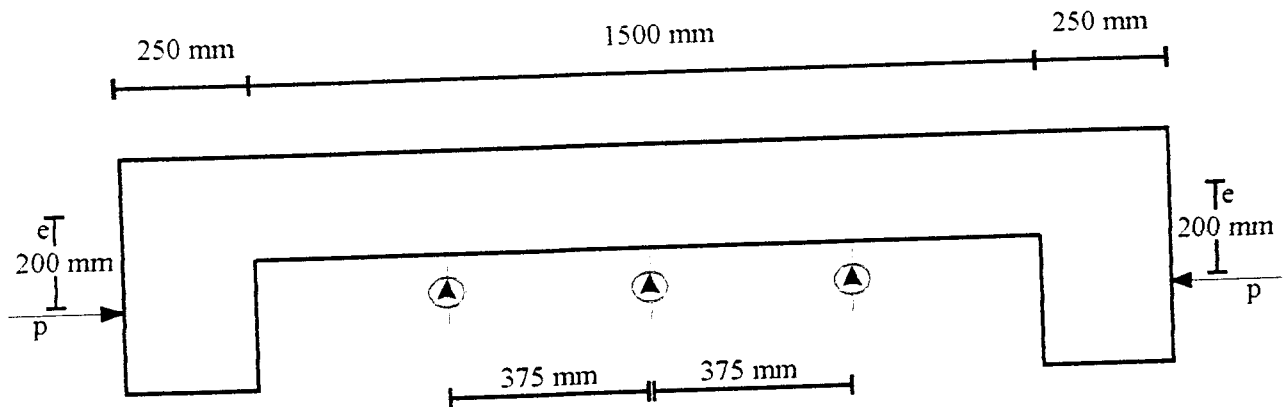


Beban (KN)	Dial (M)			Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/M)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00000
4,90	0,00035	0,00045	0,00041	0,98	0,00100
9,81	0,00075	0,00095	0,00089	1,97	0,00185
14,71	0,00210	0,00245	0,00225	2,98	0,00391
19,61	0,00342	0,00405	0,00393	4,00	0,00533
24,52	0,00420	0,00515	0,00475	5,03	0,00960
29,42	0,00499	0,00625	0,00595	6,07	0,01109
34,32	0,00585	0,00716	0,00665	7,11	0,01294
39,23	0,00605	0,00735	0,00664	8,13	0,01429
44,13	0,00687	0,00834	0,00764	9,19	0,01543
49,04	0,00735	0,00895	0,00820	10,25	0,01671
53,94	0,00785	0,00970	0,00899	11,31	0,01820
58,84	0,00843	0,01058	0,00982	12,39	0,02069
63,75	0,00973	0,01154	0,01025	13,48	0,02204
68,65	0,01105	0,01298	0,01170	14,62	0,02283
73,55	0,01192	0,01387	0,01245	15,73	0,02396
78,46	0,01290	0,01479	0,01325	16,85	0,02439
83,36	0,01385	0,01587	0,01409	17,99	0,02702
88,26	0,01470	0,01695	0,01517	19,15	0,02866
93,17	0,01635	0,01898	0,01725	20,40	0,03100
98,07	0,01975	0,02254	0,02033	21,82	0,03556
100,52	0,02290	0,02634	0,02365	22,75	0,04359
100,52	0,02401	0,02879	0,02682	23,00	0,04800
100,52	0,02873	0,03364	0,02951	23,49	0,06428
100,52	0,03199	0,03782	0,03283	23,91	0,07694
100,52	0,03582	0,04215	0,03697	24,34	0,08185
100,52	0,04005	0,04698	0,04113	24,83	0,09088
100,52	0,04332	0,05085	0,04425	25,22	0,10048
100,52	0,04675	0,05873	0,05364	26,01	0,12139
100,52	0,05063	0,06756	0,06023	26,90	0,17252

GRAFIK BEBAN LENDUTAN KOLOM DENGAN VARIASI RONGGA BERTDIAMETER D 38,1 mm

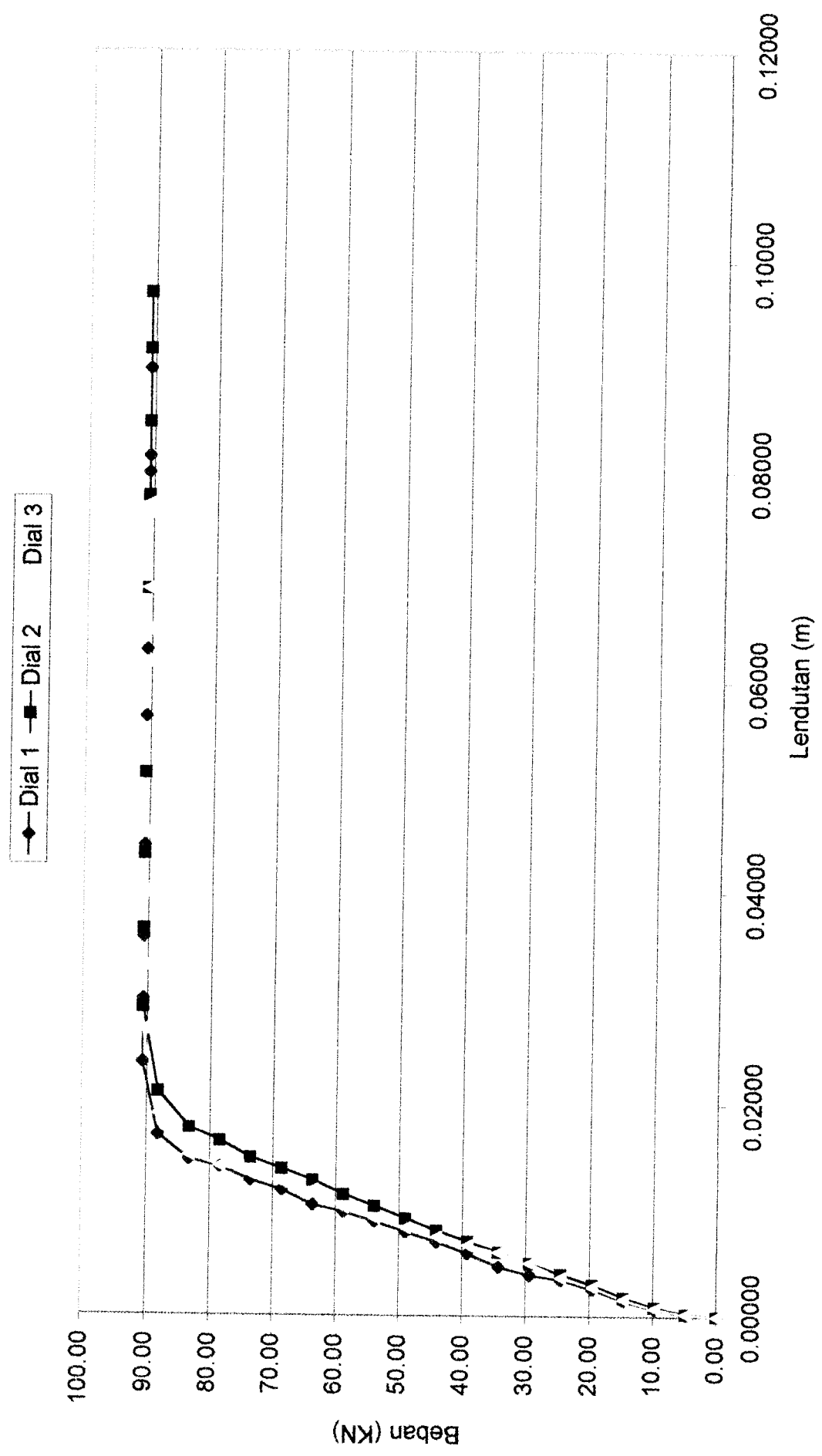


**DATA UJI KUAT DESAK KOLOM LANGSING
BERONGGA DIAMETER 50.8 mm**

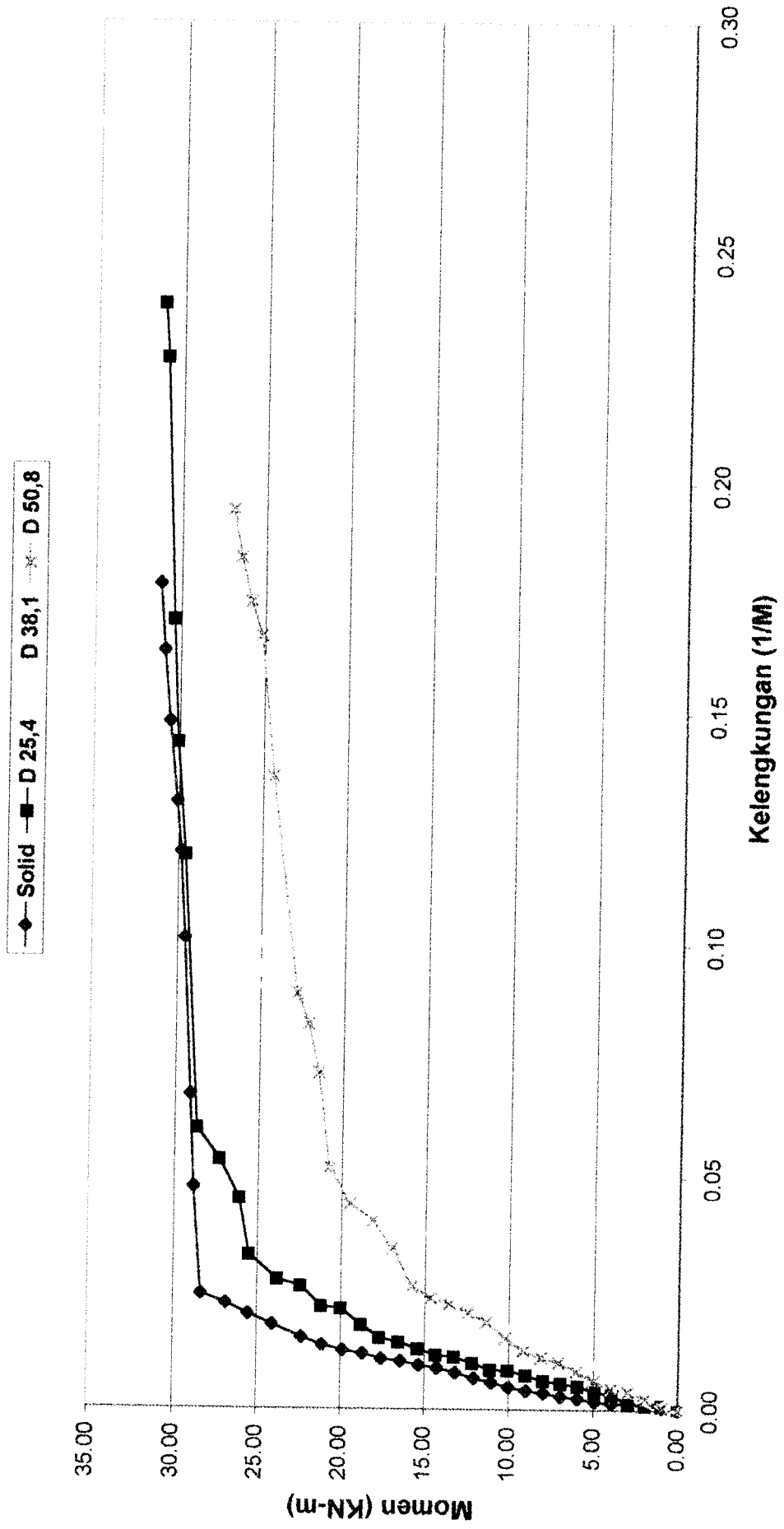


Beban (KN)	Dial (M)			Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/M)
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00	0,00000
4,90	0,00020	0,00026	0,00024	0,98	0,00057
9,81	0,00068	0,00089	0,00075	1,97	0,00249
14,71	0,00146	0,00180	0,00158	2,97	0,00398
19,61	0,00255	0,00297	0,00275	3,98	0,00455
24,52	0,00341	0,00395	0,00361	5,00	0,00626
29,42	0,00385	0,00498	0,00495	6,03	0,00825
34,32	0,00462	0,00601	0,00598	7,07	0,01010
39,23	0,00585	0,00703	0,00664	8,12	0,01116
44,13	0,00693	0,00805	0,00741	9,18	0,01252
49,04	0,00790	0,00915	0,00825	10,26	0,01529
53,94	0,00885	0,01033	0,00918	11,34	0,01870
58,84	0,00973	0,01140	0,01015	12,44	0,02076
63,75	0,01042	0,01273	0,01185	13,56	0,02268
68,65	0,01179	0,01382	0,01249	14,68	0,02389
73,55	0,01271	0,01484	0,01327	15,80	0,02631
78,46	0,01395	0,01641	0,01402	16,98	0,03449
83,36	0,01462	0,01767	0,01504	18,14	0,04039
88,26	0,01698	0,02107	0,01897	19,51	0,04402
90,71	0,02382	0,02904	0,02695	20,78	0,05198
90,71	0,02977	0,03645	0,03297	21,45	0,07225
90,71	0,03565	0,04358	0,03987	22,10	0,08277
90,71	0,04439	0,05124	0,04552	22,79	0,08939
90,71	0,05658	0,06874	0,06173	24,38	0,13632
90,71	0,06289	0,07756	0,06877	25,18	0,16683
90,71	0,07973	0,08456	0,06488	25,81	0,17429
90,71	0,08129	0,09156	0,07598	26,45	0,18382
90,71	0,08965	0,09689	0,07681	26,93	0,19428

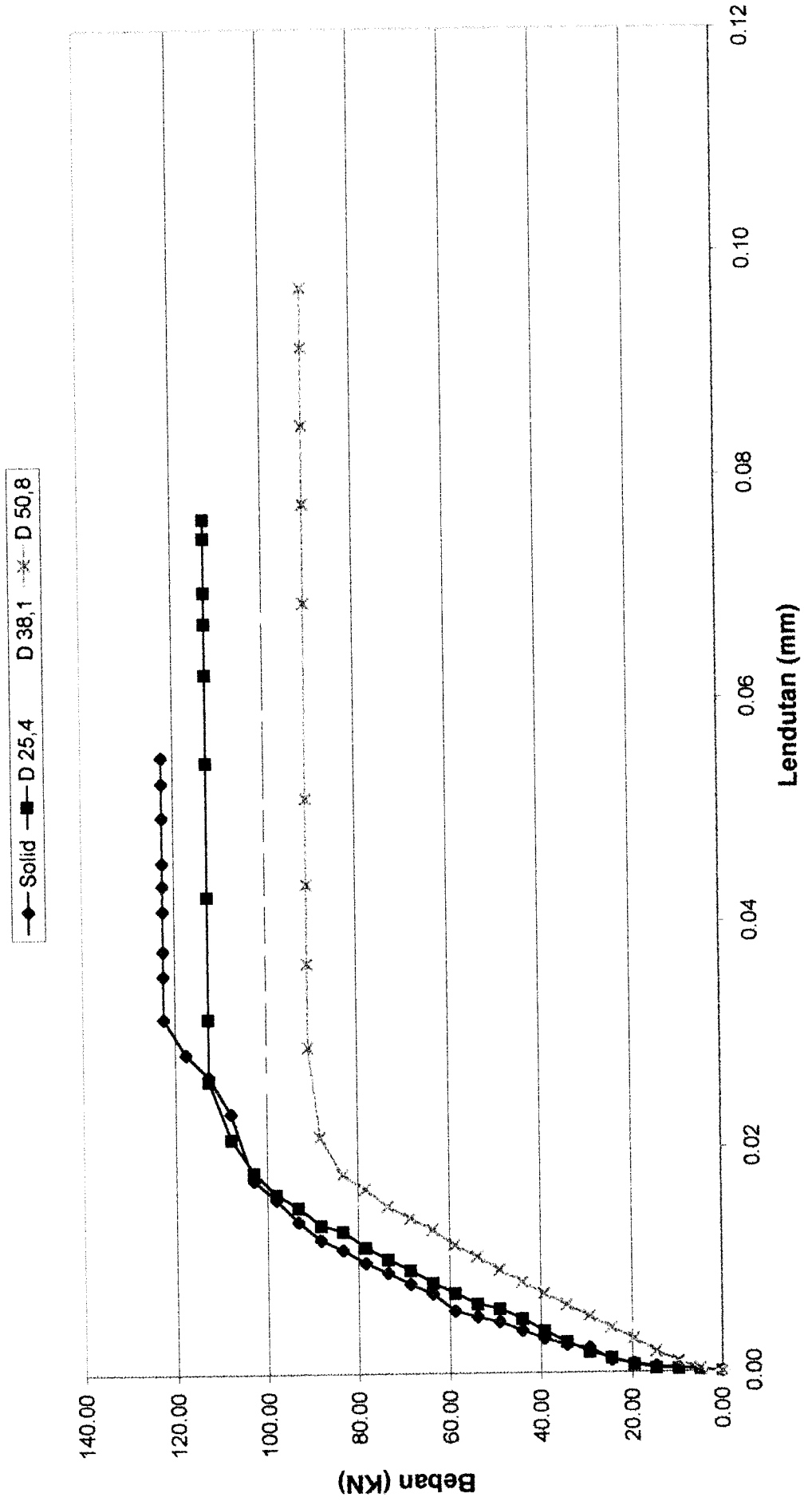
GRAFIK BEBAN LENDUTAN KOLOM DENGAN VARIASI RONGGA BERTDIAMETER D 50,8 mm



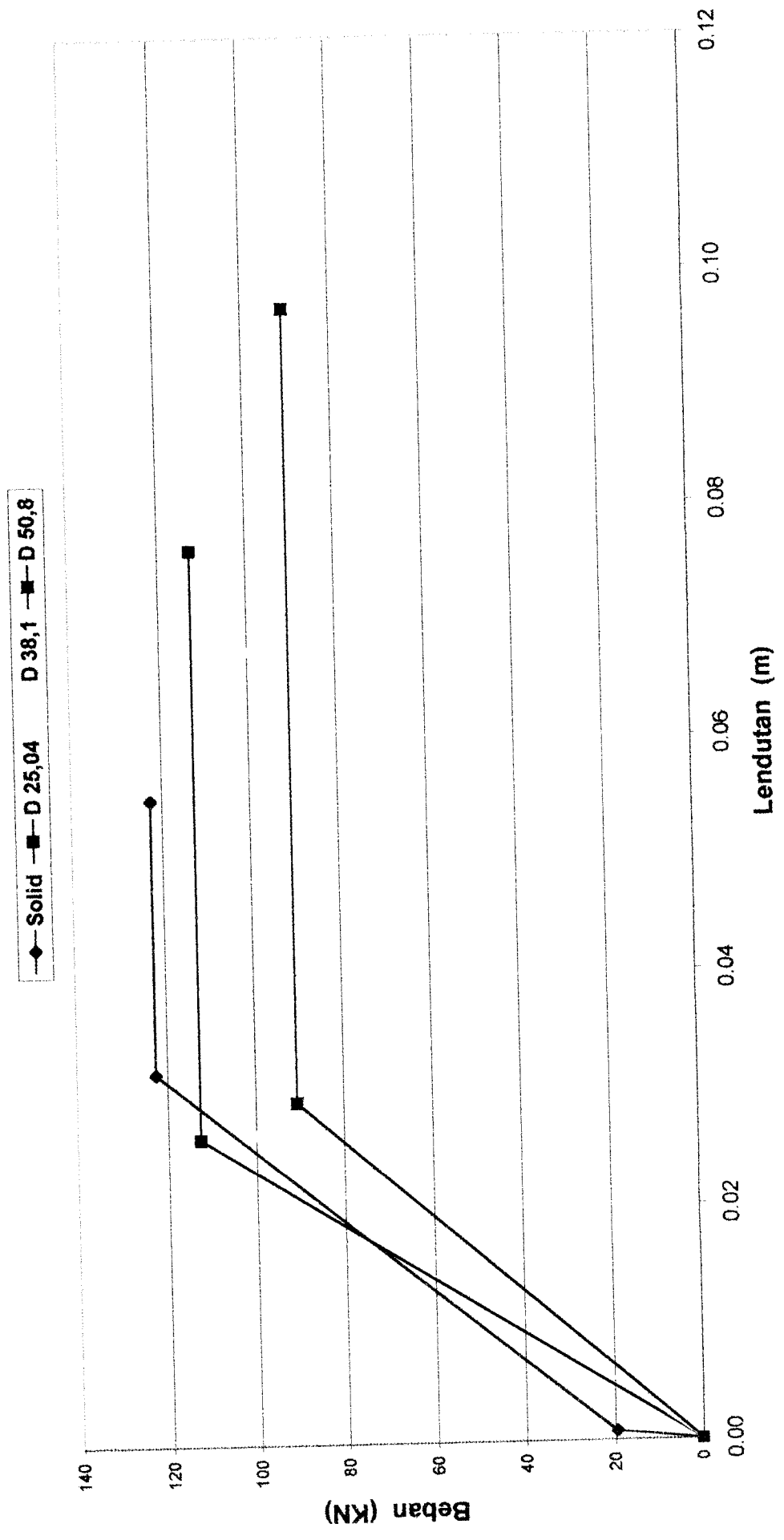
**PERBANDINGAN GRAFIK MOMEN KELENGKUNGAN KOLOM SOLID DENGAN KOLOM BERONGGA
BERDIAMETER 25,4 mm, 38,1 mm, 50,81mm**



**PERBANDINGAN GRAFIK BEBAN LENDUTAN (P -) KOLOM NORMAL, KOLOM BERONGGA
DENGAN VARIASI BERTDIAMETER 25,4 mm, 38,1 mm, 50,8 mm**

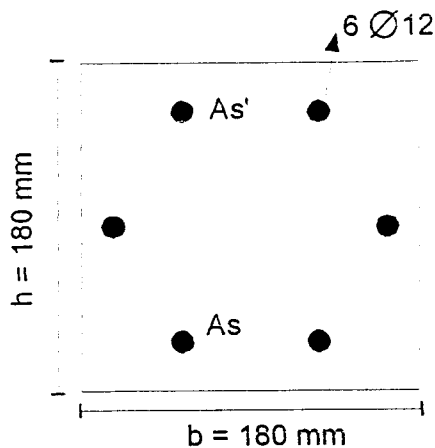


PERBANDINGAN GRAFIK BILINIER BEBAN LENDUTAN (P -) KOLOM NORMAL, KOLOM BERONGGA
 DENGAN VARIASI BERTDIAMETER 25,4 mm, 38,1 mm, 50,8 mm



PERHITUNGAN MOMEN KELENGKUNGAN

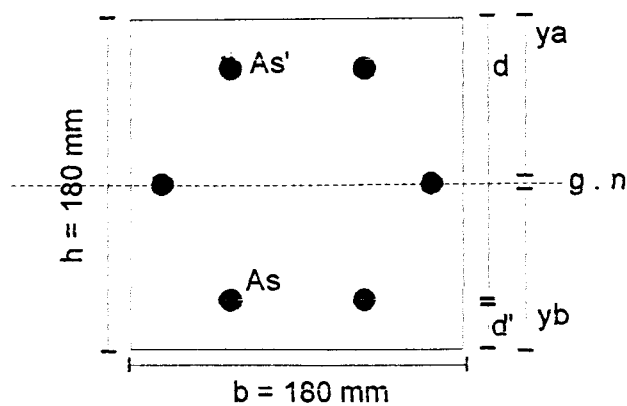
SECARA TEORITIS



$6 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm}$ $f_y \varnothing 12 = 320,05 \text{ Mpa}$
 $= 0,320 \text{ KN/mm}$
 $f_c' = 0,00328 \text{ KN}$
 $AS = AS' = \frac{1}{4} \pi \cdot 12^2 \times 2 = 226,08 \text{ mm}^2$
 $\rho = \frac{AS}{bd} = \frac{226,08}{180 \times 180} = 0,00697$
 $\rho' = \frac{AS'}{bd} = \frac{226,08}{180 \times 180} = 0,00697$
 $EC = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{32873}$
 $= 26947,44 \text{ Mpa} = 26,947 \text{ KN}$

$$\text{Modulus ratio } n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200.000}{26,947} = 7,422$$

1. Menghitung besar momen kelengkungan pada retak awal



Karena simetris maka garis netral $y' = 90 \text{ mm}$

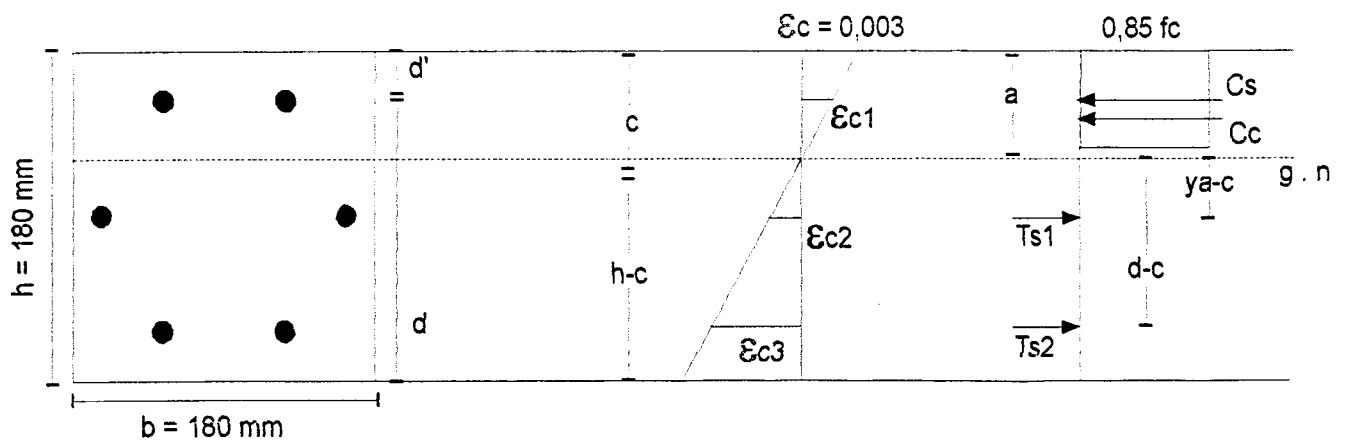
$$\begin{aligned}
 I &= 1/12 bh^3 + bh (y_a - 1/2 h)^2 + (n-1) A_s (y_a - d')^2 + (n-1) A_s (y_a - d')^2 \\
 &= 1/12 \cdot 180 \cdot 180^3 + 0 + (7,422 - 1) \cdot 226,08 (70)^2 + (7,422 - 1) \cdot 226,08 (70)^2 \\
 &= 101708480,448 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{modulus retak} \rightarrow f_r &= 0,7 \sqrt{f_c'} = 0,7 \sqrt{32,873} = 4,013 \text{ Mpa} \\
 &= 0,004013 \text{ KN/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{crack}} = \frac{f_r \times I}{y'} = \frac{0,004013 \times 101708480,448}{90} = 4978,0681 \text{ KN-mm}$$

$$\phi_{\text{crack}} = \frac{f_r}{y_b \cdot E_c} = \frac{0,004013}{90 \times 26,947} = 0,000003855 \text{ rad/mm}$$

2. Menghitung besar momen kelengkungan setelah retak pada saat leleh pertama



Asumsi bahwa tulangan dalam kondisi telah leleh.

$$\begin{aligned}K &= \left[(\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \frac{\rho' \cdot d'}{d} \right) n \right]^{\frac{1}{2}} - n (\rho + \rho') \\&= \left[(0,00697 + 0,00697)^2 (7,422)^2 + 2 \left(0,00697 + \frac{0,00697 \cdot 20}{160} \right) \cdot 7,422 \right]^{\frac{1}{2}} \\&\quad - 7,422 (2 \times 0,00697) \\&= 0,3565\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= k \cdot d \\&= 0,3565 \cdot 160 \\&= 57,04 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{0,320}{200} = 0,0016$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{c1} &= \epsilon_y \cdot \frac{c}{d - c} \\&= 0,0016 \cdot \frac{57,04}{160 - 57,04} \\&= 0,000886\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{c2} &= \frac{\epsilon_c (90 - c)}{c} \\&= \frac{0,003(90 - 57,04)}{57,04}\end{aligned}$$

$$= 0,00173 > \epsilon_y \text{ luluh}$$

$$f_c = \epsilon_c \cdot E_c = 0,000886 \times 26,947 = 0,0238 \text{ KN/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{s'} &= \epsilon_c \left[\frac{kd - d'}{kd} \right] \\ &= 0,000886 \left[\frac{57,04 - 20}{57,04} \right] \\ &= 0,000575 \leq \epsilon_y = 0,0016\end{aligned}$$

$$f_s = \epsilon'_{s'} \times E_s = 0,000575 \times 200$$

$$= 0,115 \text{ KN/mm}^2$$

$$C_c = 0,85 f_c \times a \times b$$

$$= 0,85 \cdot 0,026947 \times 48,484 \times 180$$

$$= 199,894 \text{ KN} - \text{mm}$$

$$C_s = A_s \cdot f_y$$

$$= 226,08 \times 0,155$$

$$= 25,999 \text{ KN} - \text{mm}$$

$$T_{s1} = A_s \cdot f_y$$

$$= 226,08 \times 0,320$$

$$= 72,3456 \text{ KN} - \text{mm}$$

$$T_{s2} = A_s \cdot f_y$$

$$= 226,08 \times 0,320$$

$$= 72,3456 \text{ KN} - \text{mm}$$

$$M_y = C_s (c - d') + C_c (c - a/2) + T_{s1} (y_a - c) + T_{s2} (d - c)$$

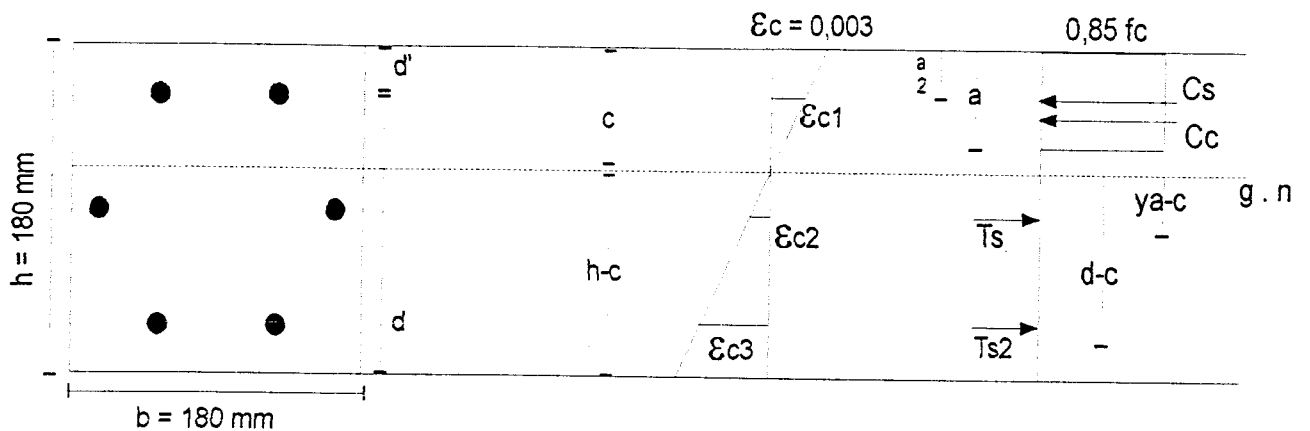
$$= 25,999 (57,04 - 20) + 199,894 (57,04 - 24,242) + 72,3456 (90 - 57,04) +$$

$$72,3456 (160 - 57,04)$$

$$= 22995,5601 \text{ KN} - \text{mm}$$

$$\begin{aligned}\Phi_y &= \frac{\epsilon_y}{(d-c)} \\ &= \frac{0,0016}{(160-57,04)} = \frac{0,0016}{102,96} \\ &= 0,0000288 \text{ rad/mm}\end{aligned}$$

3. Menghitung besar momen kelengkungan Ultimit



Asumsi bahwa tulangan dalam kondisi telah leleh

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 26,947 \cdot a \cdot 180 \\ &= 3,471 C \text{ KN}\end{aligned}$$

$$C_s = 72,3456 \text{ KN}$$

$$T_{s1} = T_{s2} = 72,3456 \text{ KN}$$

$$\sum M = 0$$

$$Cc \cdot (C - a/2 + Cs(c - d') - Ts_1 \cdot (90 - c) - Ts_2(160 - c) = 0$$

$$3,471 \cdot C(c - a/2) + 72,3456(c - 20) - 72,3456(90 - c) - 72,3456(160 - c) = 0$$

$$3,471 c^2 - 1,64475 a + 72,3456 c - 1446,912 - 6511,104 + 72,3956 c - 11575,296 + 72,3456 c = 0$$

$$3,471 c^2 - 1,398 c + 217,0368 - 19533,312 = 0$$

$$3,471 c^2 + 215,6388 c - 19533,312 = 0$$

$$c = 62,96 \text{ mm}$$

Chek tegangan regangan . Cs & Ts

$$\frac{\epsilon_1}{40,96} = \frac{0,003}{62,96}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{40,96 \cdot 0,003}{62,96}$$

$$= 0,00195$$

$$\epsilon_s = \frac{0,0320}{200} = 0,0016$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{27,04 \cdot 0,003}{62,96} = 0,001288$$

ϵ_{s1} dan ϵ_{s2} luluh anggapan benar jadi $C = 62,96 \text{ mm}$

Maka :

$$Mu = Cs(c - d') + Cc(c - a/2) + Ts_1(y_a - c) + Ts_2(d - c)$$

$$= 72,3456(62,96 - 20) + 218,5342(62,96 - 26,758) + 72,3456(90 - 62,96) +$$

$$72,3456(160 - 62,96)$$

$$= 26875,738 \text{ KN} - \text{mm}$$

$$\Phi_u = \frac{\epsilon_c}{C} = \frac{0,003}{62,96} = 0,000155 \text{ rad/ mm}$$

MOMEN RETAK
(PERHITUNGAN SECARA TEORITIS)

Momen retak secara teoritis menurut Istimawan (1994) dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

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

dimana :

M_{cr} = momen retak

f_r = modulus retak beban = $0,7 \sqrt{f_c'}$

I_g = inersia balok $\frac{1}{12} b h^3$

y_t = jarak garis netral keserat tepi tertarik

Berdasarkan data yang ada maka momen retak dapat dicari, sebagai berikut :

1. Momen retak kolom normal

$$f_c' = 20 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 0,7 \sqrt{20} = 3,13 \text{ Mpa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 180 \times 180^3 = 87,48 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{1}{2} X h = \frac{1}{2} \cdot 180 = 90 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,13 \times 87,48 \times 10^6}{90} = 3,0424 \times 10^6 = 3,0424 \times 10^6 \text{ Nm}$$

$$= 3,0424 \text{ KN-m}$$

Jadi berdasarkan perhitungan momen retak secara teoritis diatas di dapat nilai momen retak, $M_{cr} = 3,0424 \text{ KN-m}$. Kemudian untuk P retak (P_{cr}) dapat dihitung

dengan rumus sebagai berikut :

$$M_{cr} = P_{cr} \cdot e$$

$$P_{cr} = \frac{3,0424 \text{ KN} \cdot m}{0,2 \text{ m}} = 15,212 \text{ KN}$$

2. Momen retak kolom dengan diameter rongga 25,4 mm. Pada kolom yang berongga dengan diameter 25,4 mm nilai inersia (I_g)nya akan berubah.

Maka :

$$f_r = 3,13 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} I_g &= (1/12 bh^3 - 1/4 \pi d^2) \\ &= (87,48 \times 10^6) - (1/4 \cdot 3,14 \cdot 25,4^2) \\ &= 87,48 \times 10^6 - 506,4506 \\ &= 87,48 \times 10^6 \text{ mm}^4 - 506,4506 = 87,47 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$Y_t = 90 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} = \frac{3,13 \times 87,47 \times 10^6}{90} = 3,0423 \text{ KNm}$$

$$M_{cr} = P_{cr} \cdot e$$

$$P_{cr} = \frac{3,0423}{0,2} = 15,2115 \text{ KN}$$

3. Momen retak kolom dengan rongga berdiameter (38,1 mm)

$$f_r = 3,13 \text{ Mpa}$$

$$I_g = 1/12 bh^3 - 1/4 \pi d^2$$

$$= 1/12 \cdot 180 \cdot 180^3 - 1/4 \cdot 3,14 \cdot 38,1^2 = 87,478860 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$Y_t = 90 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r X I_g}{y_t} = \frac{3,13 \times 87,47 \times 10^6}{90} = 3,0423 \text{ KNm}$$

$$P_{cr} = \frac{3,0423}{0,2} = 15,2115 \text{ KN}$$

4. Momen retak kolom dengan rongga berdiameter (50,8mm)

$$I_g = 87,48 \times 10^6 - (1/4 \cdot 3,14 \cdot 50,8^2)$$
$$= 87,477974 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$M_{cr} = \frac{f_r X I_g}{y_t} = \frac{3,13 \times 87,47 \times 10^6}{90} = 3,0423 \text{ KNm}$$

$$P_{cr} = \frac{3,04}{0,2} = 15,211 \text{ KN}$$

DESAIN KOLOM

Direncanakan dimensi kolom seperti diatas pada gambar, maka direncanakan P_n ?

Dengan : $b = 180 \text{ mm}$ $d' = 30 \text{ mm}$
 $h = 180 \text{ mm}$ $d = h - d' = 150 \text{ mm}$
 $l_u = 1500 \text{ mm}$ $f_c' = 20 \text{ Mpa}$, $f_y = 400 \text{ Mpa}$
tulangan memanjang $6 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm}$
tulangan untuk lilitan spiral $\varnothing 6 \text{ mm}$
 $e \text{ rencana} = 200 \text{ mm}$

solusi :

$$\frac{kl_u}{r} \rightarrow r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 0,3 h = 54$$

$$\frac{1500}{54} = 27,78 > 22 \text{ (kolom langsing)}$$

$$\text{Syarat emin} = (15 + 0,03 h)$$

$$= (15 + 0,03 \cdot 180) = 20,4 \text{ mm} < e_r = 200 \text{ mm-ak}$$

cek eksentrisitas rencana e_r (diberikan) lebih besar atau lebih kecil daripada eksentrisitas balanced e_b

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \cdot 150}{600 + 400} = 90 \text{ mm}$$

$$a_b = B_1 \cdot C_b = 0,85 \cdot 90 = 76,5 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \left[\frac{c_b - d'}{c_b} \right] = 600 \left[\frac{90 - 30}{90} \right] = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 400 \text{ Mpa} \geq f_y = 400 \text{ Mpa}$$

digunakan $f_s' = f_y = 400 \text{ Mpa}$

Luas tulangan :

$$\begin{aligned} A_s &= A_s' = \frac{1}{2} [6 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi D^2] \\ &= \frac{1}{2} [6/4 \cdot \pi \cdot (12)^2] \\ &= 339,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rightarrow P_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_b + A_s' f_s' - A_s f_y$$

$$= 0,85 \cdot 20 \cdot 180 \cdot 76,5 + 0$$

$$= 234090 \text{ N}$$

$$M_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \cdot b \cdot [h/2 - ab/2] + A_s' f_s' [h/2 - d'] - A_s t_y \left[\frac{180}{2} - 30 \right] + 400.$$

$$339,12 \left[150 - \frac{180}{2} \right]$$

$$= 28391917 \text{ N}$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{28391917}{234090} = 121,286 \text{ mm} < e_r = 200 \text{ mm}$$

$e_b < e_r \rightarrow$ keruntuhan kolom berupa keruntuhan tarik

\rightarrow Analisa Penampang Terhadap Beban yang Bekerja :

$$\rho = \frac{A_s t}{A_g} = \frac{678,24}{32400} = 0,020$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 20} = 23,5294$$

$$P_h = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \left[\frac{h-2e}{2d} \right] - \sqrt{\left(\frac{h-2e}{2d} \right)^2 + 2 \cdot \rho \cdot m \left(1 - \frac{d'}{d} \right)}$$

$$\frac{h-2e}{2d} = \frac{180 - 2 \cdot 200}{2 \cdot 150} = -0,733$$

$$1 - \frac{d'}{d} = 1 - \frac{30}{150} = 0,80$$

$$= 0,85 \cdot 20 \cdot 180 \cdot 150 \left[-0,733 + \sqrt{(0,733)^2 + 2 \cdot 0,020 \cdot 23,5294 \cdot 0,8} \right]$$

$$= 459000 \text{ X } [0,3667]$$

$$= 168774,3 \text{ N}$$

$$= 168,774 \text{ KN}$$

$$P_u = \phi P_n$$

$$= 0,7 \cdot 168,774 \text{ KN}$$

$$= 118,1418 \text{ KN}$$

$P_u = 118,1418 \text{ KN} \rightarrow$ dengan e rencana = 200 mm

PERENCANAAN KONSOL

Direncanakan konsol dengan dimensi pada gambar yaitu :

$$b = 200 \text{ mm} \quad d' = 30 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm} \quad d = h - d' = 270 \text{ mm}$$

$$f_c' = 20 \text{ Mpa} \quad f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$P_u = V_u = 118,1418 \text{ KN} \rightarrow e_r = 200 \text{ mm}$$

Perencanaan Tulangan Geser !

Solusi :

- Gaya geser

$$V_u = 118,1418 \text{ KN}$$

- Kekuatan geser beton

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{20} \cdot 200 \cdot 270 = 40,249 \text{ KN} \end{aligned}$$

- Kekuatan geser tvl geser :

$$\begin{aligned} V_{S1} &= \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{20} \cdot 200 \cdot 270 = 80,498 \end{aligned}$$

$$V_{S2} = \frac{2}{3} \sqrt{20} \cdot 200 \cdot 270 = 160,996 \text{ KN}$$

Faktor reduksi untuk geser $\phi = 0,60$, maka:

$$\phi V_c = 0,60 \cdot 40,249 \text{ KN}$$

$$= 24,149 \text{ KN}$$

$$\emptyset VS1 = 0,60 \cdot 80,498 \text{ KN}$$

$$= 48,2988 \text{ KN}$$

$$\emptyset VS2 = 0,60 \cdot 160,996 \text{ KN}$$

$$= 96,5976 \text{ KN}$$

$$\emptyset (VC + VS1) = 72,4482 \text{ KN}$$

$$\emptyset (VC + VS2) = 120,7470 \text{ KN}$$

Ternyata :

$$\emptyset VC = 24,1494 < VU = 118,1418 \text{ KN} < \emptyset (VC + VS2) = 120,7470 \text{ KN}$$

Berarti ukuran penampang konsol dapat digunakan, tetapi diperlukan tulangan geser, maka diperlukan tulangan geser untuk menahan gaya geser kelebihan yaitu :

$$\emptyset VS \text{ perlu} = VU - \emptyset VC$$

$$= 118,1418 - 24,1494$$

$$= 93,9924 \text{ KN}$$

$$VS = 93,9924 / 0,60$$

$$= 156,654 \text{ KN}$$

Jarak sengkang dicari ? dengan menggunakan $\emptyset 6 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{jarak sengkang } S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{56,52 \cdot 400 \cdot 270}{156,654 \cdot 10^3} = 38,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

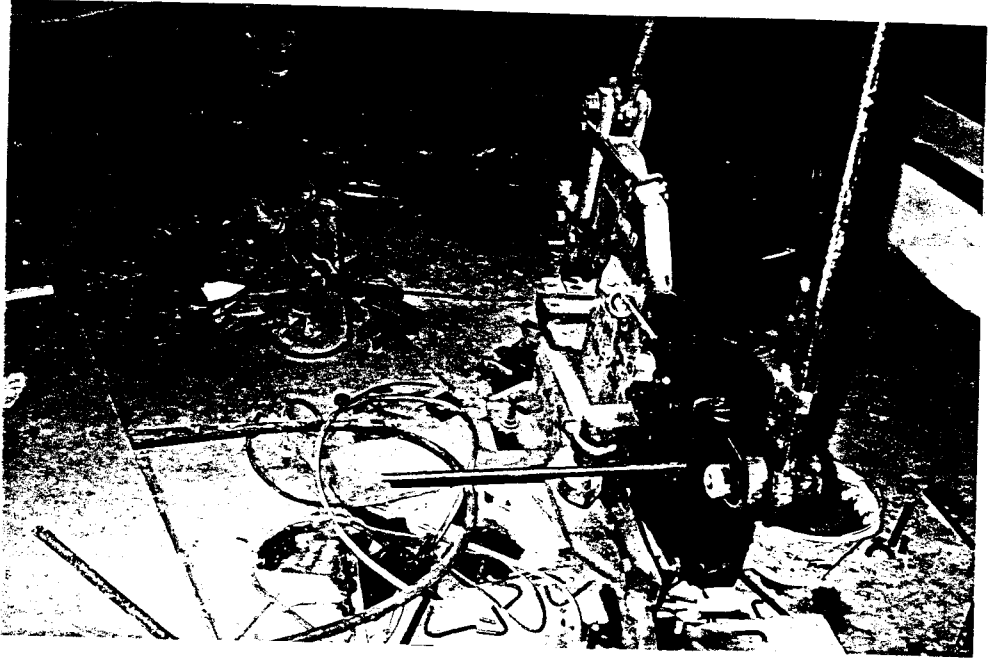
$$S = 38,96 \text{ mm}$$

Syarat jarak (spasi) sengkang $5 \leq d/4$ atau $S \leq 600 \text{ mm}$

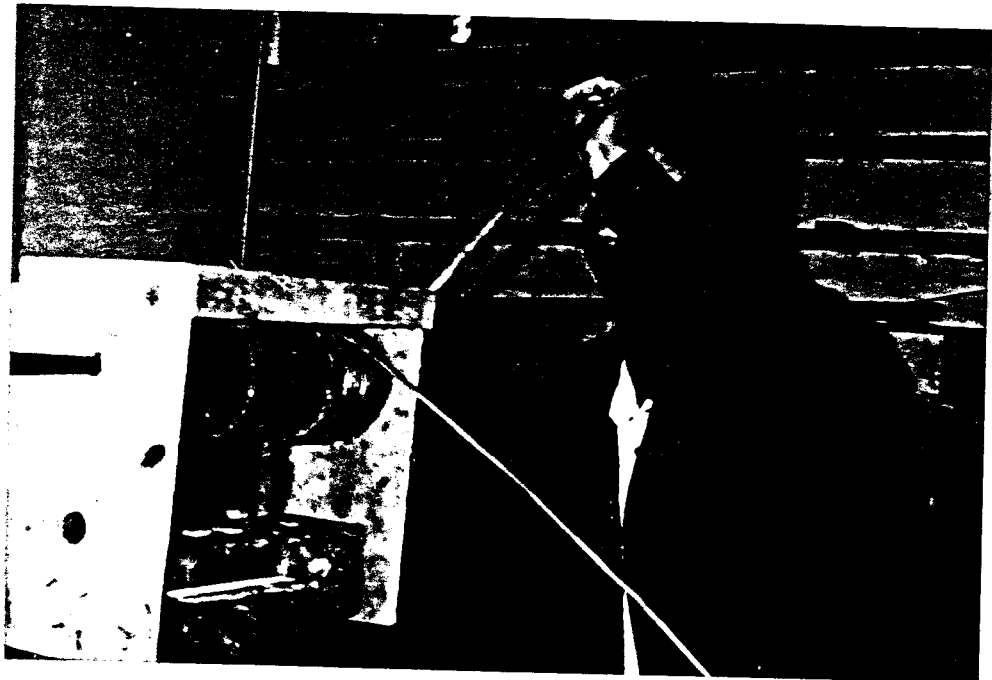
$$S \leq d/4$$

$$\leq 270/4 = 67,5 \text{ mm}$$

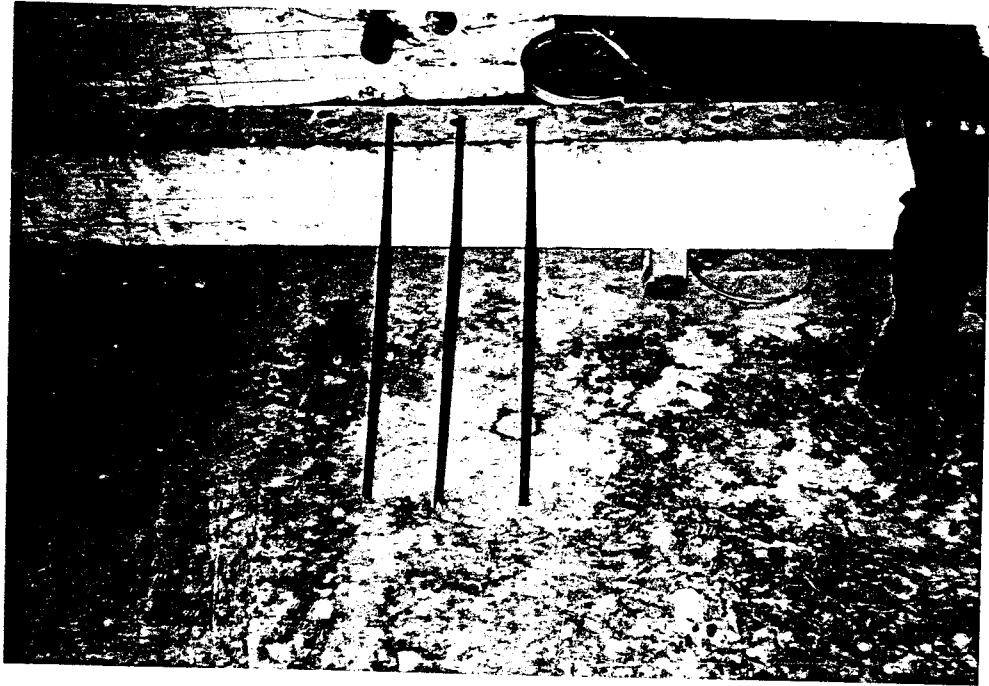
$$\text{Srencana} = 40 \text{ mm} > 38,96 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{oke}$$



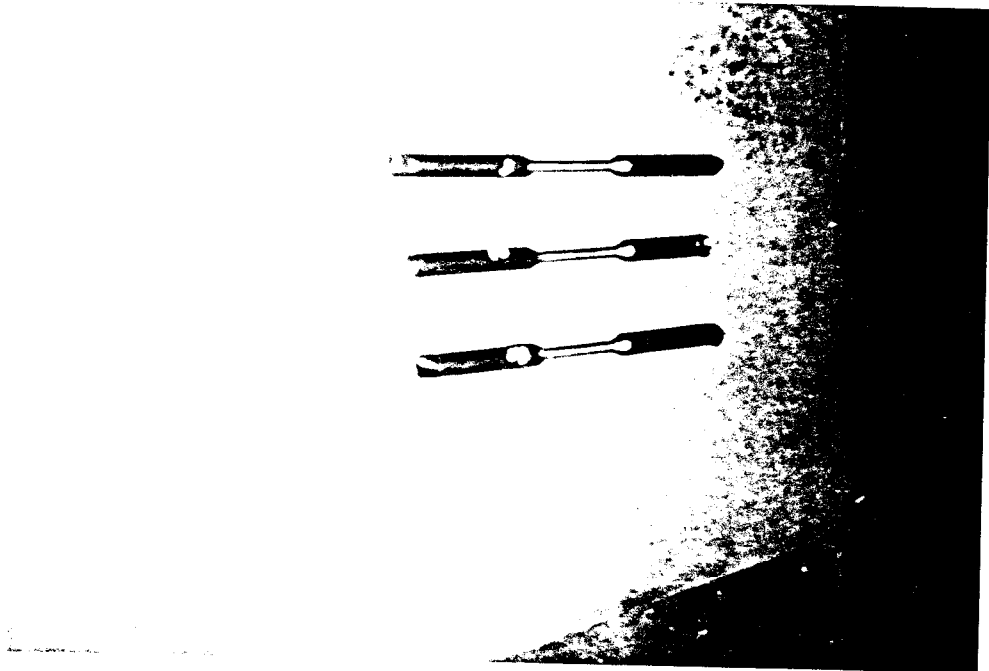
Gambar 1. Alat pemotong baja tulangan



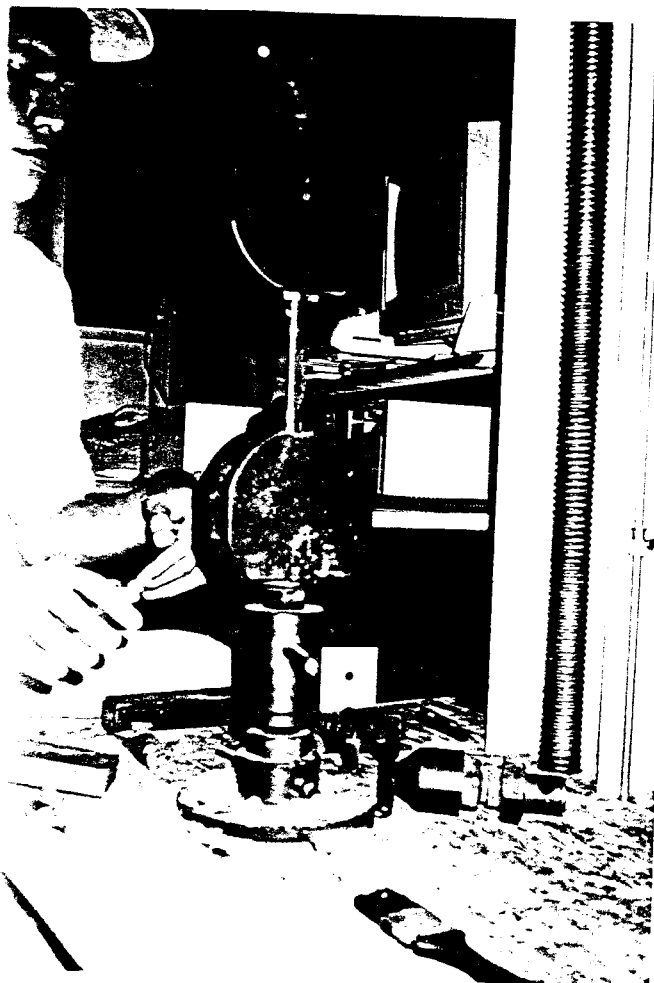
Gambar 2. Pembuatan Tulangan spiral



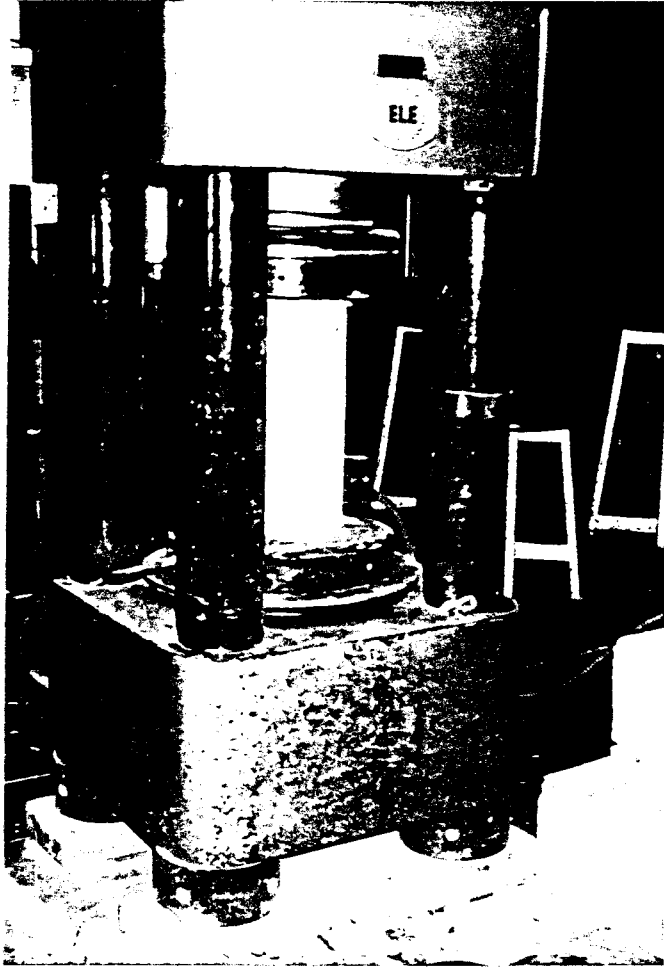
Gambar 3. Sampel tulangan untuk tes tarik baja



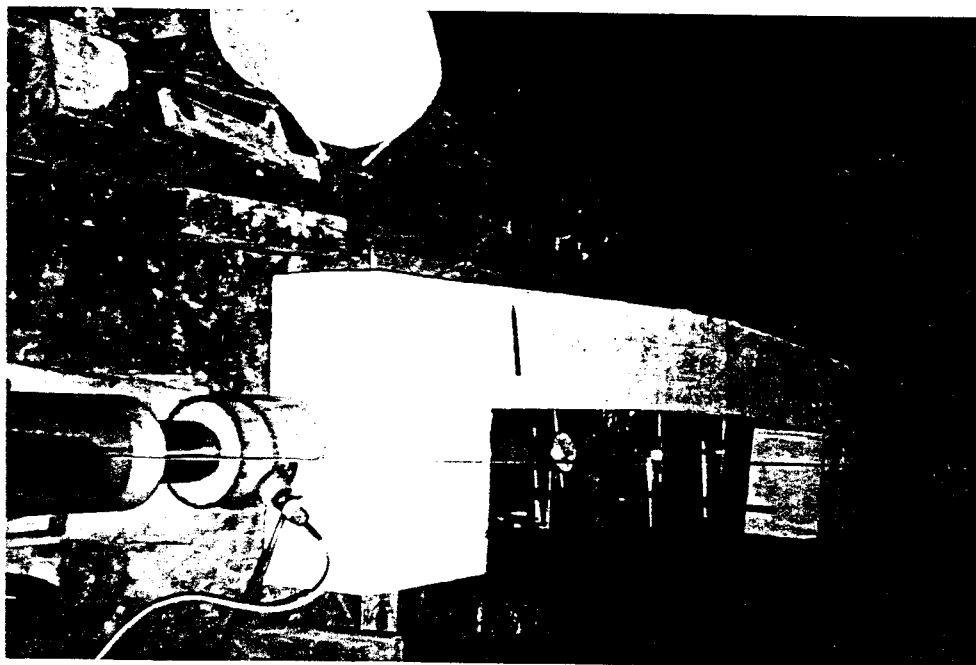
Gambar 4. Sampel tulangan untuk tes tarik baja setelah dibubut



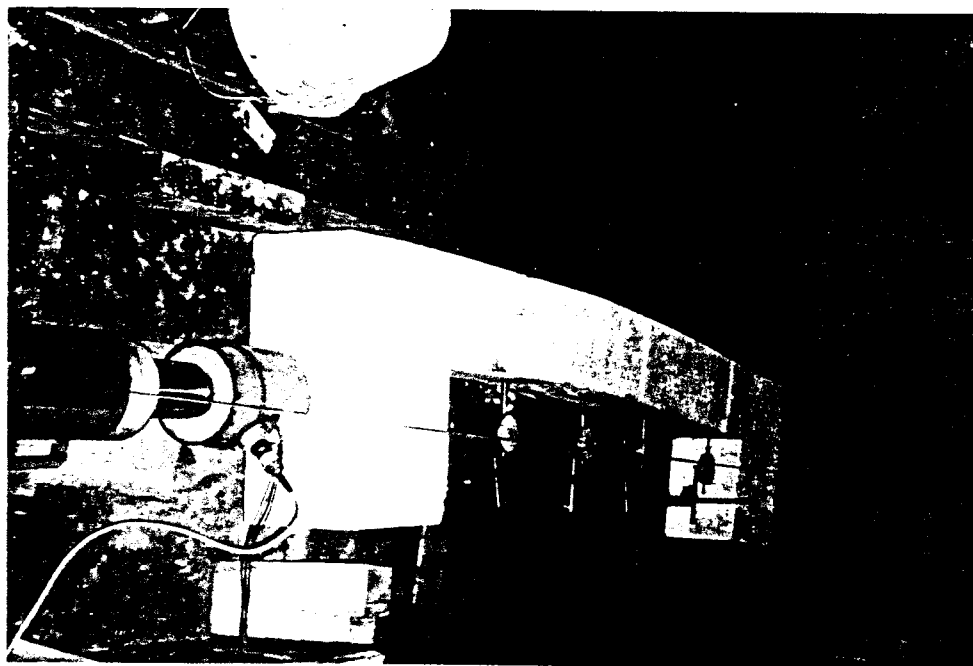
Gambar 5. Alat penguji tarik baja



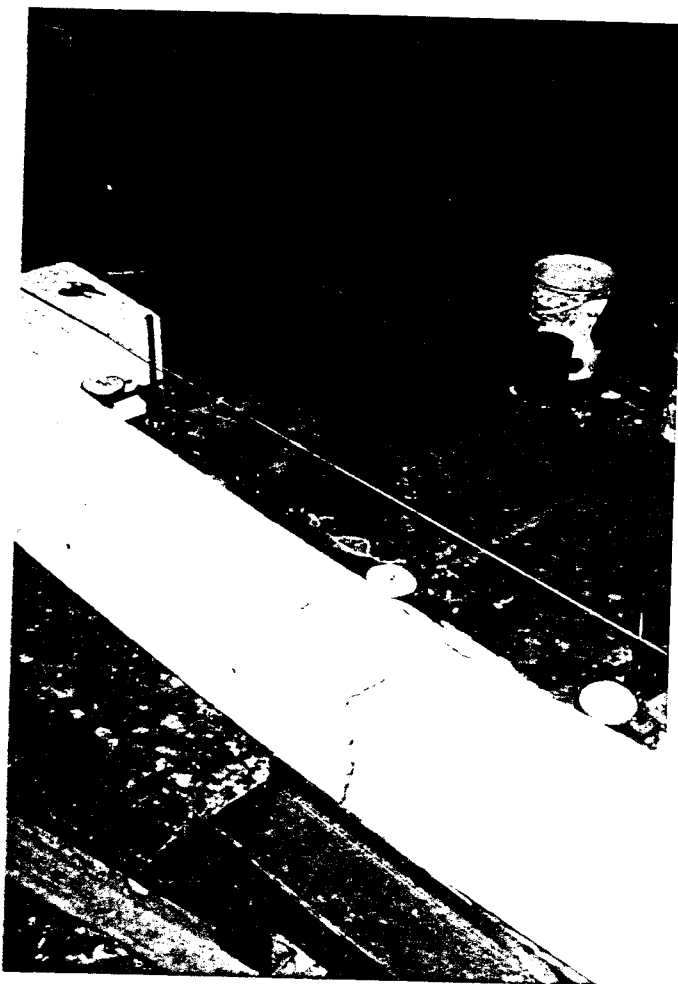
Gambar 6. Alat penguji desak silinder beton



Gambar 7. Setting alat benda uji kolom



Gambar 8. Pengujian benda uji kolom



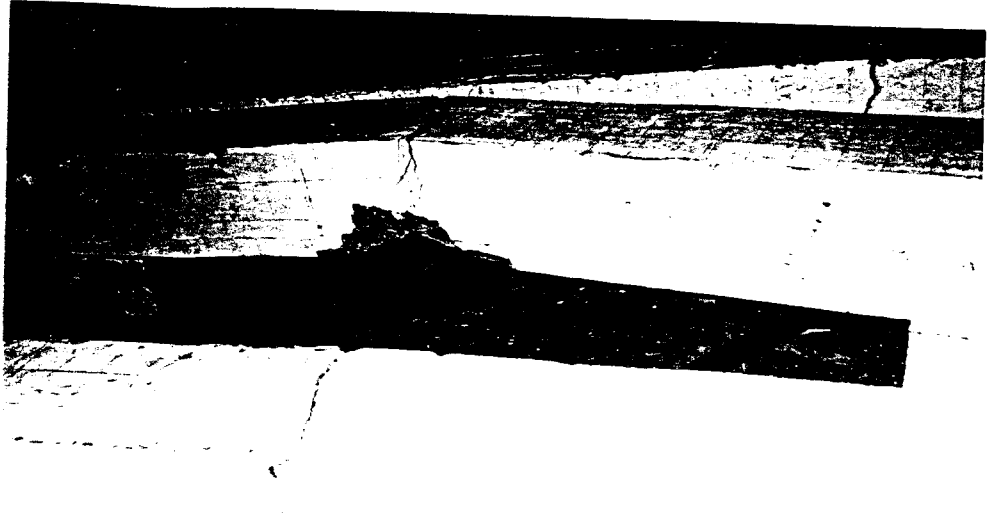
Gambar 9. Kerusakan yang terjadi pada uji desak kolom



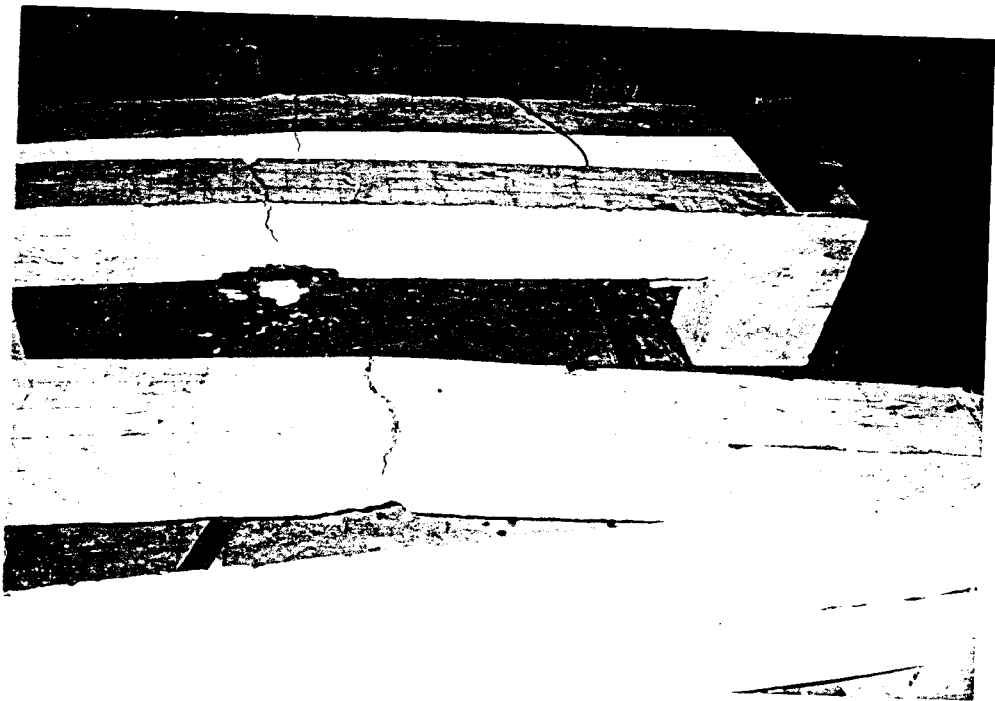
Gambar 10. Retak yang terjadi pada benda uji kolom

ak kolom





Gambar 11. Hasil uji desak kolom



Gambar 12. Hasil uji desak kolom