

**PENGARUH BEBAN TEKAN EKSENTRIS
PADA KOLOM BETON BERTULANG BERLUBANG
TERHADAP LENDUTAN**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Diajukan oleh :

AGUS GATOT WAHYUDI

0210610003

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL
MALANG
2007**

**PENGARUH BEBAN TEKAN EKSENTRIS
PADA KOLOM BETON BERTULANG BERLUBANG
TERHADAP LENDUTAN**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

AGUS GATOT WAHYUDI

0210610003

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono MD, MS

NIP 131 276 254



**PENGARUH BEBAN TEKAN EKSENTRIS
PADA KOLOM BETON BERTULANG BERLUBANG
TERHADAP LENDUTAN**

Disusun oleh :

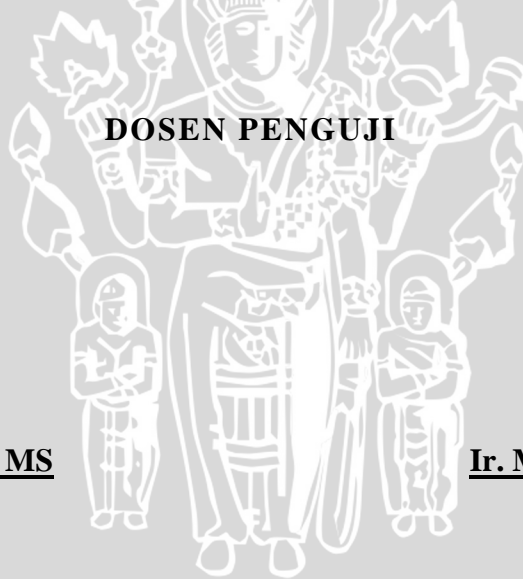
AGUS GATOT WAHYUDI

NIM 0210610003

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 10 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI



Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MS
NIP 131 276 254

Ir. M Taufik Hidayat, MT
NIP 131 759 586

Ketua Jurusan Sipil

Ir. As'ad Munawir, MT
NIP 131 574 850

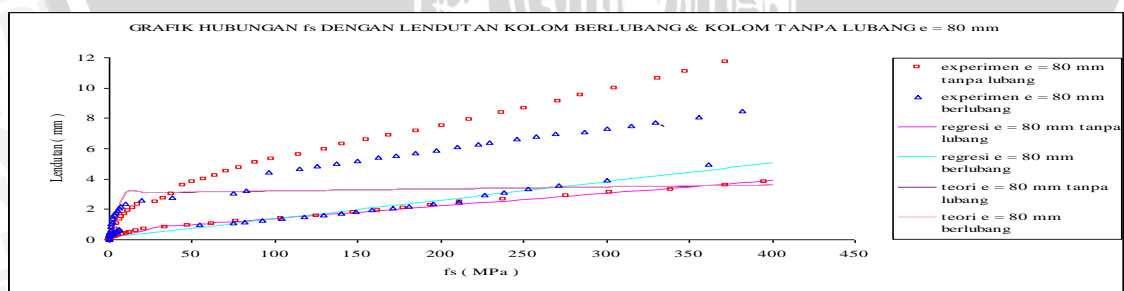
ABSTRAKSI

AGUS GATOT WAHYUDI, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Pengaruh beban tekan eksentris pada kolom beton bertulang berlubang terhadap lendutan*. Dosen pembimbing : Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono MD, MS

Dewasa ini perkembangan jasa konstruksi telah dipergunakan kolom beton bertulang yang pada bagian tengahnya dipasang instalasi air baik saluran air kotor maupun saluran air bersih. Hal ini dimungkinkan karena dalam nilai estetika suatu bangunan, pipa – pipa saluran air seringkali mengurangi nilai estetika bangunan tersebut. Instalasi listrik juga seringkali ditempatkan pada lubang yang terdapat di kolom beton bertulang, yang juga berfungsi untuk meningkatkan nilai estetika dari suatu bangunan.

SNI 03 – 2847 – 2002 menyatakan bahwa saluran dan pipa, bersama kaitnya, yang ditanam pada kolom tidak boleh menempati lebih dari 4 persen luas penampang yang diperlukan untuk kekuatan. Sehingga dari ketentuan tersebut di atas perencanaan lubang pada kolom tidak boleh melebihi dari 4 persen luas penampang kolom yang diperlukan untuk kekuatan dari kolom. Namun berbeda bila prosentase lubang pada kolom melebihi dari 4 persen yang akan menyebabkan penurunan kekuatan dari kolom.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh beban tekan eksentris pada kolom beton bertulang berlubang terhadap lendutan dengan memberikan perbedaan jarak eksentrisitas yaitu sebesar 80 mm, 100 mm dan 120 mm. Kolom uji berukuran 150 mm x 150 mm dan setiap perlakuan eksentrisitas yang berbeda terdapat 2 benda uji kolom. Hasil penelitian dapat dilihat pada salah satu grafik berikut:



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Berdasarkan data hasil penelitian maka dilakukan analisis statistik. dari pengujian hipotesis dengan mengambil resiko kesalahan 5 % di dapat nilai $f_{hitung} = 1,785 < f_{tabel} = 3,090$ sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan dari variasi eksentrisitas terhadap lendutan (defleksi) kolom.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulisan skripsi dengan judul "Pengaruh beban tekan eksentris pada kolom beton bertulang berlubang terhadap Lendutan" ini dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bpk. Ir. As'ad Munawir, MT; selaku Ketua Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bpk. Ir. Hendi Bowoputro, MT; selaku Sekretaris Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bpk. Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MS; selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membagikan banyak ilmunya.
4. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT; selaku dosen yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bpk. Ir. M Taufik Hidayat, MT; selaku dosen penguji.
6. Orang Tua dan adik-adikku yang selalu mendoakan serta memberikan bantuan sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
7. Rekan – rekan angkatan 2002 yang tercinta, terima kasih atas segala dorongan, semangat, dan bantuan yang tulus selama ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu, kritik dan saran yang bermanfaat dari pembaca sangat kami harapkan demi kesempurnaannya, terima kasih.

Malang, Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Identifikasi masalah	2
1.3. Perumusan masalah	2
1.4. Pembatasan masalah	2
1.5. Maksud tujuan penelitian	3
1.6. Manfaat penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kolom	4
2.2. Jenis kolom	4
2.3. Kolom pendek	6
2.4. Kekuatan kolom pendek dengan beban eksentris	7
2.4.1. Keruntuhan tarik	7
2.5. Diagram interaksi	8
2.6. Kapasitas kolom berlubang	10
2.7. Persamaan lendutan	12
2.7.1. Kolom jepit-bebas dengan beban eksentris	12
2.7.2. Modulus elastisitas	13
2.7.3. Momen inersia	13
2.8. Hipotesis penelitian	15

III. METODE PENELITIAN	16
3.1. Tempat dan waktu penelitian	16
3.2. Peralatan dan bahan	16
3.3. Analisa bahan yang digunakan	16
3.4. Rancangan penelitian	17
3.5. Prosedur pembuatan benda uji	17
3.6. Prosedur penelitian	18
3.7. Langkah-langkah penelitian	19
3.8. Variabel penelitian	20
3.9. Metode pengumpulan data	20
3.10. Analisis data	20
3.10.1. Analysis of Variance (anova)	20
3.10.2. Analisis regresi linear tunggal	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Sifat-sifat bahan penyusun kolom beton bertulang	25
4.1.1. Semen	25
4.1.2. Air	25
4.1.3. Agregat halus	25
4.1.4. Agregat kasar	26
4.1.5. Baja tulangan	26
4.2. Pengujian beton segar	26
4.3. Pengujian beton keras	27
4.4. Campuran beton	28
4.5. Pengujian kolom	28
4.6. Pengujian hipotesis	29
4.6.1. Pengujian hipotesis tentang pengaruh eksentrisitas pada nilai lendutan	29
4.6.2. Analisis regresi	29
4.7. Pembahasan	30
4.7.. Pembahasan pengaruh beban tekan eksentrisitas terhadap lendutan pada kolom tanpa lubang dan kolom berlubang	30
V. PENUTUP	34
5.1. Kesimpulan	34

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah suatu komposit dari bahan batu-batuan yang kuat sekali menerima tekanan tetapi sangat lemah apabila menerima tarikan. Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar, yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan bahan secukupnya perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Nilai kekuatan serta daya tahan beton merupakan fungsi dari banyak faktor diantaranya adalah nilai banding bahan campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperatur dan kondisi pengerasan serta perawatannya.

Dewasa ini perkembangan jasa kontruksi telah dipergunakan kolom beton bertulang yang pada bagian tengahnya dipasang instalasi air baik saluran air kotor maupun saluran air bersih. Hal ini dimungkinkan karena dalam nilai estetika suatu bangunan, pipa – pipa saluran air seringkali mengurangi nilai estetika bangunan tersebut. Instalasi listrik juga seringkali ditempatkan pada lubang yang terdapat di kolom beton bertulang, yang juga berfungsi untuk meningkatkan nilai estetika dari suatu bangunan.

Sehubungan dengan mutu dan efisiensi biaya yang optimal, selain hal tersebut di atas lubang pada kolom beton bertulang juga dapat dipergunakan sebagai alternatif untuk meminimalisasi volume beton yang dipakai dalam suatu proyek konstruksi, sehingga efisiensi dari suatu proyek konstruksi dapat terpenuhi.

SNI 03 – 2847 – 2002 menyatakan bahwa saluran dan pipa, bersama kaitnya, yang ditanam pada kolom tidak boleh menempati lebih dari 4 persen luas penampang yang diperlukan untuk kekuatan. Sehingga dari ketentuan tersebut di atas perencanaan lubang pada kolom tidak boleh melebihi dari 4 persen luas penampang kolom yang diperlukan untuk kekuatan dari kolom. Namun berbeda bila prosentase lubang pada kolom melebihi dari 4 persen yang akan menyebabkan penurunan kekuatan dari kolom.

Eksentrisitas pada suatu kolom harus diperhitungkan mengingat pada umumnya kegagalan atau keruntuhan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas, bersifat mendadak, oleh karena itu dalam hal perencanaan struktur kolom harus

memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan yang lebih tinggi daripada untuk komponen struktur lainnya. Kolom dalam prakteknya harus diperhitungkan untuk menyangga beban aksial tekan dengan eksentrisitas tertentu. Eksentrisitas beban dapat terjadi akibat timbulnya momen yang antara lain disebabkan oleh kekangan pada ujung – ujung kolom yang dicetak secara monolit dengan komponen lain, pelaksanaan pemasangan kurang sempurna, ataupun penggunaan mutu bahan yang tidak merata. (*Struktur Beton Bertulang, Istimawan D.*)

1.2 Identifikasi Masalah

Penerapan lubang untuk penanaman instalasi air maupun listrik pada kolom beton bertulang semakin banyak digunakan, namun efek jangka panjang yang akan timbul dengan adanya lubang tersebut kurang begitu diperhatikan. Diantara beberapa efek yang mungkin akan timbul akibat adanya lubang dan beban tekan yang eksentris adalah timbulnya lendutan pada kolom beton bertulang tersebut. Karena itu, seberapa besar lendutan dengan adanya lubang dan beban tekan yang eksentris pada kolom perlu dipelajari lebih lanjut.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh beban tekan eksentris pada kolom beton bertulang berlubang terhadap lendutan ?
2. Berapakah besar lendutan yang terjadi ?

1.4 Pembatasan Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian ini, dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Benda uji kolom yang digunakan adalah kolom pendek dengan penampang persegi.
2. Jumlah dan luas tulangan ditentukan.
3. Asumsi tumpuan pada kolom adalah jepit bebas.
4. Mutu beton yang dipakai adalah $f'_c = 29,7$ MPa.
5. Mutu baja yang dipakai adalah $f_y = 371,526$ MPa.
6. Eksentrisitas pada kolom ditentukan.

7. Kolom dalam kondisi runtuh tarik.
8. Lubang pada kolom ditentukan.
9. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari.
10. Pipa PVC yang ditanam pada kolom diabaikan.

1.5 Maksud Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah memberikan pengetahuan baru dan masukan yang baik bagi para peneliti maupun pengguna tentang pengaruh lubang pada kolom beton bertulang dengan beban tekan eksentris.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar lendutan (*defleksi*) yang terjadi pada kolom beton bertulang yang dibebani dengan beban tekan eksentris, sehingga dapat memberikan suatu data masukan baru tentang perubahan nilai lendutan (*defleksi*) pada kolom beton bertulang.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah dapat menjadi pengetahuan tambahan yang berguna bagi para peneliti dan pelaksana di lapangan tentang pengaruh lubang pada kolom beton bertulang dengan beban tekan eksentris. Selain itu penelitian ini juga sebagai bahan masukan untuk penelitian – penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (frame) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui fundasi. (Edward G. Nawy, 1990: 306)

SNI 03 – 2847 – 2002 memberikan definisi kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melebihi tiga yang digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan. Sedangkan komponen struktur tekan tegak yang mempunyai rasio tinggi bebas terhadap dimensi lateral terkecil rata-rata kurang dari tiga disebut dengan pedestal.

Sebagai bagian dari suatu kerangka bangunan dengan fungsi dan peran seperti tersebut, kolom menempati posisi penting dalam sistem struktur bangunan. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Pada umumnya kegagalan atau keruntuhan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas, bersifat mendadak. Oleh karena itu dalam merencanakan struktur kolom harus memperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan lebih tinggi daripada komponen untuk komponen struktur lainnya..

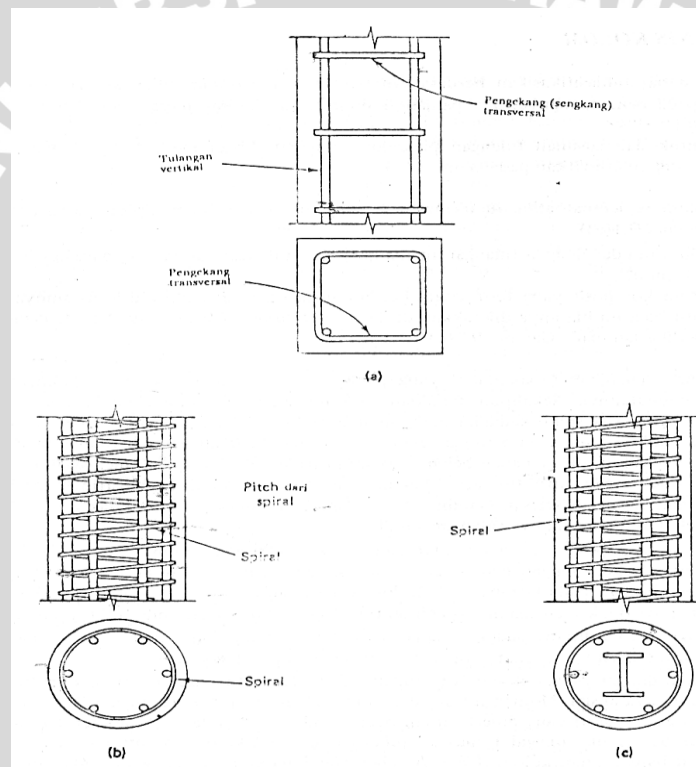
Selanjutnya, karena penggunaan di dalam praktek umumnya kolom tidak hanya bertugas menahan beban aksial vertikal, definisi kolom diperluas dengan mencakup juga tugas menahan kombinasi beban aksial tekan dan momen lentur. Atau dengan kata lain, kolom harus diperhitungkan untuk menyangga beban aksial tekan dengan eksentrisitas tertentu.

2.2 Jenis Kolom

Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangnya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya.

Jenis kolom berdasarkan bentuk dan susunan tulangan dibagi menjadi tiga kategori (Edward G. Nawy, 1990: 307):

1. Kolom segiempat atau bujursangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang (Gambar 2.1(a)).
2. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral (Gambar 2.1(b)).
3. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural di dalamnya. Profil baja ini biasanya diletakkan di dalam selubung tulangan biasa seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1(c).

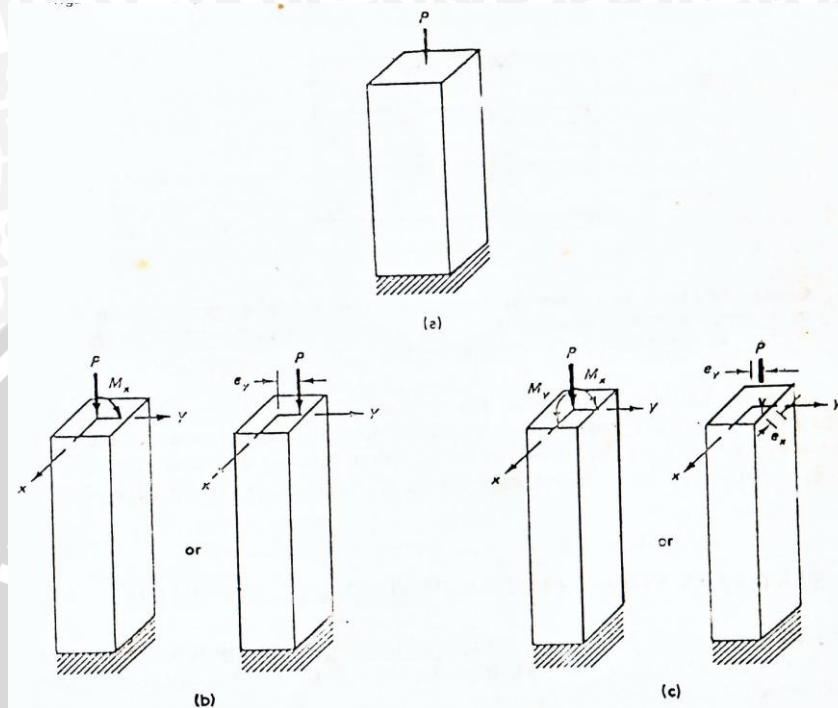


Gambar 2.1 Jenis kolom berdasarkan bentuk dan macam penulangan : (a) kolom bersengkang; (b) kolom berspiral; (c) kolom komposit.

Berdasarkan posisi beban terhadap penampang melintang, kolom dapat diklasifikasikan atas : (Edward G. Nawy, 1990: 307)

1. Kolom dengan beban sentris, berarti kolom tidak mengalami momen lentur (Gambar 2.2 (a)). Akan tetapi, dalam prakteknya semua kolom hendaknya direncanakan terhadap eksentrisitas yang diakibatkan oleh hal-hal tak terduga, seperti tidak tepatnya pembuatan acuan beton dan sebagainya.

2. Kolom dengan beban eksentris, berarti kolom mengalami momen lentur selain juga gaya aksial (Gambar 2.2 (b) dan (c)). Momen ini dapat dikonversikan menjadi suatu beban P dengan eksentrisitas e .



Gambar 2.2 Jenis kolom berdasarkan posisi beban pada penampang melintang : (a) kolom dengan beban sentris; (b) beban aksial ditambah momen satu sumbu (uniaksial); (c) beban aksial ditambah momen dua sumbu (biaksial).

2.3 Kolom Pendek

Jumlah luas tulangan pokok memanjang kolom dibatasi dengan rasio penulangan ρ_g antara 0,01 dan 0,08. Tingkat kelangsingan suatu struktur kolom diungkapkan sebagai rasio kelangsingan,

$$\frac{kl_u}{r}$$

dengan,

k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

l_u = panjang komponen struktur tekan yang tidak ditopang

r = jari – jari putaran potongan lintang komponen struktur tekan,

ditetapkan 0,30 h dimana h adalah dimensi kolom persegi pada arah bekerjanya momen atau 0,25 D dimana D adalah diameter kolom bulat

Untuk komponen struktur tekan tanpa pengaku lateral, atau tidak disokong untuk tertahan ke arah samping, efek kelangsingan dapat diabaikan jika memenuhi : (Istimawan Dipohusodo, 1999: 331)

$$\frac{kl_u}{r} < 22$$

Panjang efektif kl_u diperlakukan sebagai panjang modifikasi kolom untuk memperhitungkan efek tahanan ujung yang bukan sendi. Faktor panjang efektif tahanan ujung k bervariasi antara nilai 0,50 – 2,0 tergantung kondisinya, untuk keadaan tipikal adalah sebagai nilai – nilai berikut ini : (Istimawan Dipohusodo, 1999: 331)

Kedua ujung sendi, tidak tergerak lateral	$k = 1,0$
Kedua ujung jepit	$k = 0,50$
Satu ujung jepit, ujung lain bebas	$k = 2,0$
Kedua ujung jepit, ada gerak lateral	$k = 1,0$

Selain didefinisikan dengan rasio kelangsingan yang kurang dari 22, kolom pendek dapat juga didefinisikan dengan kolom yang runtuh karena kegagalan materialnya yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton.

2.4 Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Eksentris

2.4.1 Keruntuhan Tarik

Pada penampang kolom pendek yang dibebani dengan beban aksial eksentrisitas besar, yaitu $e > e_b$ atau $P_n < P_b$, awal keruntuhan ditandai dengan luluhnya tulangan baja tarik. Dengan demikian berarti $f_s = f_y$, sedangkan tegangan pada tulangan baja tekan masih terdapat dua kemungkinan, sudah mencapai luluh atau belum. (Istimawan Dipohusodo, 1999)

Kesetimbangan gaya $\sum H = 0$, menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$P_n = C_c + C_s - T_s, \text{ atau}$$

$$P_n = 0,85 f'_c .b. a + A_s' . f_s' - f_s A_s$$

Kesetimbangan gaya $\sum \text{Momen} = 0$, menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$P_n e = 0,85 f'_c .b. a (y-a/2) + A_s f_y (d- d')$$
(2-1)

Apabila penulangan tekan dan tarik simetris $A_s = A_s'$ dan keduanya sudah mencapai luluh, didapatkan

$$P_n = 0.85 f'_c ab$$
(2-2)

Dengan menyelesaikan persamaan (2-12) untuk mendapatkan tinggi blok tegangan persegi, akan didapatkan:

$$a = \frac{Pn}{0,85 f' c b a} \quad (2-3)$$

Apabila harga ini disubstitusikan dalam persamaan (2-11), akan didapatkan persamaan kuadratis sebagai berikut

$$\frac{(Pn)^2}{1,70 f' c b} - Pn(y - e) - A_s f_y (d - d') = 0 \quad (2-4)$$

Dengan membagi persamaan ini dengan d dan kemudian menyelesaikannya akan didapatkan besar beban batas untuk eksentrisitas besar

$$Pn = 0,85 f' c b \left[(y - e) + \sqrt{(y - e)^2 + \frac{2A_s f_y (d - d')}{0,85 f' c b}} \right] \quad (2-5)$$

apabila $\rho = \rho' = A_s / bd = A'_s / bd$ dan parameter

$$m = \frac{f_y}{0,85 f' c b} \quad (2-6)$$

merupakan harga perbandingan kekuatan efektif dari kedua material dalam hubungannya dengan distribusi tegangan persegi dan akan bermanfaat dalam hal lainnya, dan jika keseimbangan momen diperhitungkan terhadap titik berat tulangan tarik, eksentrisitas diperhitungkan sebagai :

$$e' = [e + (d - y)] \quad (2-7)$$

selanjutnya akan didapat hubungan sebagai berikut :

$$\frac{h - 2e}{2d} = 1 - \frac{e'}{d} \quad (2-8)$$

sehingga persamaan Pn berubah menjadi :

$$Pn = 0,85 f' c b d \left[\left(1 - \frac{e'}{d}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2m\rho \left(1 - \frac{d'}{d}\right)} \right] \quad (2-9)$$

Apabila diinginkan untuk memperhitungkan beton yang digantikan oleh tulangan, f_y dalam persamaan (2-16) harus digantikan dengan $f_y - 0,85f'_c$, yang sama dengan menggantikan m dengan $m - 1$.

2.5 Diagram Interaksi

Kapasitas penampang kolom beton bertulang dapat dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M yang menunjukkan hubungan beban aksial dan momen lentur pada pada kondisi batas.

Setiap titik kurva menunjukkan kombinasi P dan M sebagai kapasitas penampang terhadap suatu garis netral tertentu. Suatu kombinasi beban yang diberikan pada kolom tersebut, bila diplotkan ternyata berada di dalam diagram interaksi dari kolom yang dibuat menyatakan bahwa kombinasi beban tersebut dapat dipikul oleh kolom dengan baik. Demikian pula sebaliknya, yaitu jika suatu kombinasi beban P dan M yang berada diluar diagram tersebut maka kombinasi beban tersebut adalah di luar kapasitas kolom dan dapat menyebabkan keruntuhan.

Titik-titik yang terdapat pada diagram interaksi terdapat lima kategori, yakni :

1). Tekan murni

Asumsi mengabaikan luas beton yang ditempati baja

$$P = 0,85 f_c' b d + A_{st} f_y \quad (2-10)$$

2). Keruntuhan tekan

Terjadi bilamana $P > P_b$ atau $a > a_b$, tulangan tekan sudah leleh sehingga $f_s' = f_y$

$$f_s' = 0,003 \left(\frac{\beta_1 d - a}{a} \right) E_{st} \quad (2-11)$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_s \quad (2-12)$$

$$M = 0,85 f_c' a b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (2-13)$$

3). Keruntuhan seimbang

$$a_b = \frac{0,003 E_{st}}{0,003 E_{st} + f_y} \beta_1 d \quad (2-14)$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_y \quad (2-15)$$

$$M = 0,85 f_c' a b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (2-16)$$

4). Keruntuhan tarik

Terjadi bilamana $P < P_b$ atau $a < a_b$, tulangan tarik sudah leleh sehingga $f_s = f_y$

$$f_s' = 0,003 \left(\frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) E_{st} \quad (2-17)$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_s' - A_s f_y \quad (2-18)$$

$$M = 0,85 f_c' a b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (2-19)$$

5). Lentur murni

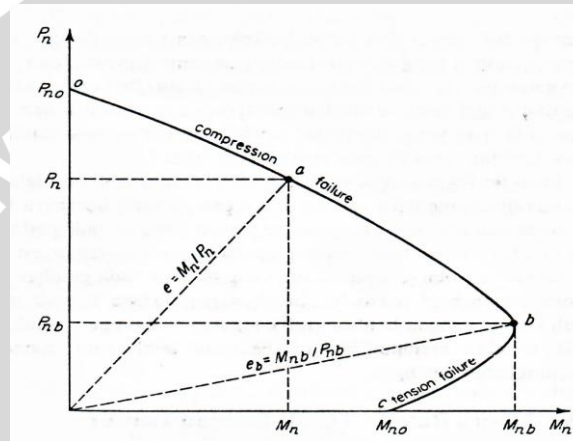
Pada kondisi ini kemungkinan f_s' belum meleleh sehingga

$$f_s' = 0,003 \left(\frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) E_{st} \quad (2-20)$$

$$P = 0,85 f_c' b a + A_s' 0,003 \left(\frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) E_{st} - A_s f_y \quad (2-21)$$

Dengan nilai $P = 0$, nilai a dapat dihitung dari persamaan polinomial derajat dua.

$$M = 0,85 f_c' a b \left(\frac{h}{2} - \frac{h}{2} \right) + A_s' f_s' \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (2-22)$$



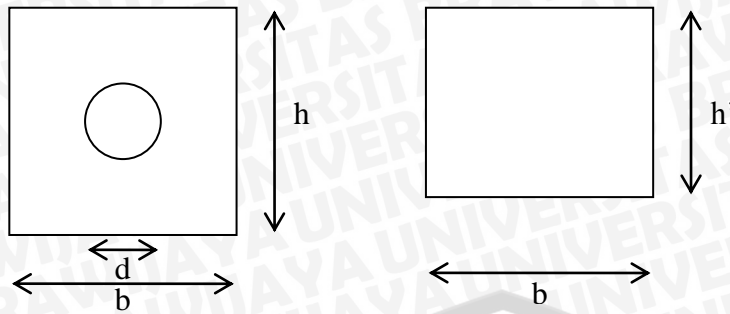
Gambar 2.3 Diagram interaksi untuk tekan dengan lentur, P_n terhadap M_n

Untuk keperluan dalam penelitian ini, ditentukan bahwa kolom mengalami keruntuhan tarik di suatu titik pada diagram interaksi dimana letak titik tersebut berada di luar kapasitas kolom. Dengan diberikan nilai beban (P_u) tertentu maka diperoleh P dan M sehingga nilai eksentrisitas dapat ditentukan yaitu $e = M/P$.

2.6 Kapasitas Kolom Berlubang

Nilai kapasitas kolom berlubang sudah barang tentu berbeda dengan kolom tidak berlubang dan dapat dipastikan bahwa nilai kapasitas kolom tidak berlubang lebih besar daripada kolom berlubang.

Hal yang berperan pada pengurangan nilai kapasitas kolom berlubang adalah nilai tinggi blok tekan beton (a). Tinggi blok tekan beton berbanding senilai dengan tinggi penampang kolom (h). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :



Gambar 2.4 Penampang Kolom berlubang

Luas kolom berlubang sama dengan penampang pada sebelah kanan pada lebar kolom (b) yang sama akan diperoleh h''

$$bh' = bh - \frac{1}{4}\pi d^2$$

$$h' = h - \frac{\pi d^2}{4b} \quad (2-23)$$

Tinggi blok tekan (a) bernilai ekuivalen dengan tinggi penampang kolom (h) dengan mensubstitusikan persamaan (2-16) pada h'/h

$$\frac{a'}{a} = \frac{h'}{h}$$

$$a' = a \frac{h'}{h} = a \left(1 - \frac{\pi d^2}{4bh} \right) \quad (2-24)$$

Keterangan : h' = tinggi ekuivalen pada kolom berlubang

a' = tinggi blok tekan kolom berlubang

Pada kolom berlubang terdapat tiga keadaan sehubungan dengan tinggi blok tekan, sebagai berikut :

a. Keadaan I ($0 \leq a < 52,5$)

$$a' = a \quad (2-25)$$

b. Keadaan II ($52,5 \leq a \leq 97,5$)

$$a' = a \left(1 - \frac{\pi(a - 52,5)^2}{4bh} \right) \quad (2-26)$$

c. Keadaan III ($97,5 < a \leq 150$)

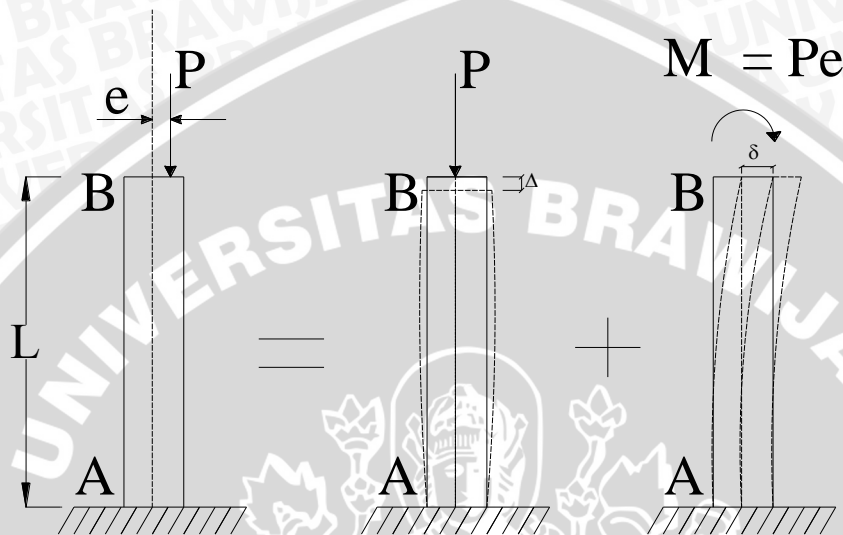
$$a' = a \left(1 - \frac{\pi d^2}{4bh} \right) \quad (2-27)$$

Nilai tinggi blok tekan kolom berlubang (a') digunakan untuk perhitungan kapasitas pada kolom berlubang.

2.7 Persamaan Lendutan

2.7.1 Kolom Jepit-Bebas dengan Beban Eksentris

Lendutan pada kolom terjadi akibat adanya perbedaan regangan pada beton dan tulangan baja yang dibebani secara terus-menerus. Pada gambar 2.6 serat kanan akan mengalami tekan (mengalami perpendekan dari panjang kolom mula-mula) dan serat kiri akan mengalami tarik (mengalami perpanjangan dari panjang kolom mula-mula).



Gambar 2.5 Tipe struktur dengan tumpuan jepit bebas yang menerima beban aksial dan momen lentur pada ujungnya.

Akibat adanya momen lentur akan mengakibatkan lendutan pada kolom sebesar:

$$\delta = \frac{ML^2}{2EI} \quad (2-28)$$

dengan:

M_0 = momen yang bekerja pada penampang.

L = panjang bentang.

I = momen inersia.

Akibat beban aksial akan mengakibatkan deformasi pada kolom sebesar:

$$\Delta = \frac{PL}{AE} \quad (2-29)$$

dengan:

Δ = deformasi.

P = beban aksial

L = panjang bentang.

A = luas penampang.

E = elastisitas

2.7.2 Modulus Elastisitas

Seperti diketahui, beton bertulang terdiri dari bahan beton yang diberi penguat yang terdiri dari tulangan baja. Dengan demikian terdapat dua unsur bahan utama yang berbeda sifatnya, membentuk mekanisme kerjasama struktural di dalam komponen. Susunan bahan yang demikian dinamakan komposit.

$E_c = 0.043 \cdot w_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$ untuk beton dengan berat isi antara 1500-2500 kg/m³

$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$ untuk beton berbobot normal 2200-2500 kg/m³

dengan : E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

w_c = berat isi beton (kg/m³)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

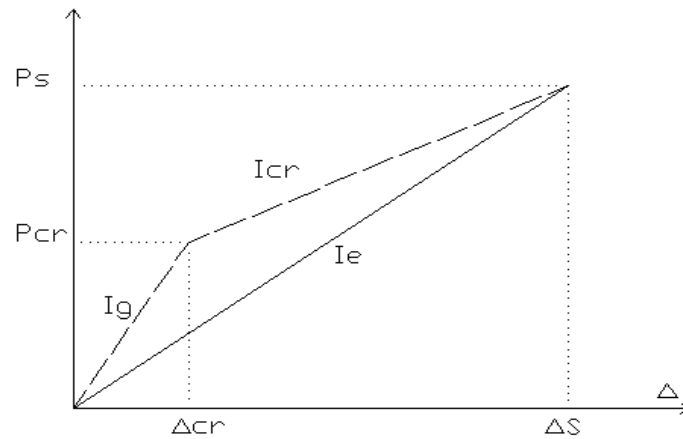
Perbandingan modulus bahan baja terhadap beton disebut juga angka ekuivalen

$$n = \frac{E_s}{E_c}, \quad E_s = 29 \times 10^6 \text{ .psi (200.000 MPa)}$$

2.7.3 Momen Inersia

Teori yang digunakan yaitu pemeriksaan lendutan didasarkan atas perilaku bahan pada strata beban kerja (layan). Pada strata beban layan pada awalnya komponen struktur beton terlentur masih menampilkan perilaku elastis tetapi kemudian mengalami retak di daerah tarik pada saat momen yang bekerja sedemikian besar sehingga timbulnya regangan tarik yang melampaui kuat tarik beton.

Momen inersia penampang retak merupakan batas ekstrim minimum dari rentang nilai yang digunakan untuk memperhitungkan besarnya lendutan. Sebagai batas lawannya, dimana penampang masih mampu untuk bertahan terhadap lendutan, ialah momen inersia keadaan penampang utuh tanpa retak. Pada kenyataannya I_{cr} dan I_g terdapat bersamaan dalam suatu komponen struktur terlentur dimana momen maksimum yang bekerja melampaui batas momen retak.



Gambar 2.6 Diagram beban lendutan yang diidealisasi untuk pembebanan jangka pendek. (sumber: Perhitungan Konstruksi Beton Bertulang berdasarkan Pedoman Beton 1989 Institut Teknologi Surabaya)

Dari gambar 2.6 dapat dilihat bahwa untuk menentukan lendutan pada beban kerja harus melalui kekakuan sebelum dan sesudah retak (I_g dan I_{cr}).

Hasil penelitian Bronson menunjukkan bahwa nilai momen inersia realistik untuk perhitungan lendutan terletak diantara kedua batas ekstrim tersebut, dimana momen inersia efektif bernilai :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \tag{2-30}$$

Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk :

$$I_e = I_{cr} + \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 (I_g - I_{cr}) \leq I_g \tag{2-31}$$

$$I_{cr} < I_e < I_g \tag{2-32}$$

Dengan demikian nilai momen inersia efektif tergantung pada nilai kedua pembatasnya, momen inersia penampang retak dan momen inersia penampang utuh, dengan:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} = \text{momen retak} \tag{2-33}$$

I_g = momen inersia dari penampang bruto beton yang tidak retak, terhadap sumbu pusat, dengan mengabaikan tulangan.

$$I_g = \frac{bh^3}{12}, \text{ untuk kolom tanpa lubang} \tag{2-34}$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12} - \frac{1}{36} \pi d^4, \text{ untuk kolom berlubang (lingkaran)} \tag{2-35}$$

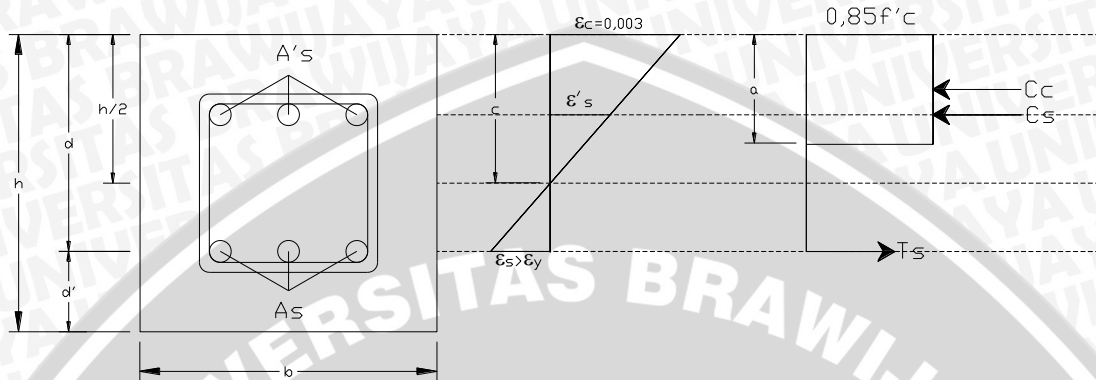


f_r = modulus runtuh beton. $f_r = 0,7\sqrt{f'_c}$

y_t = jarak dari garis netral terhadap serat tarik ekstrim. $y_t = h/2$

M_{maks} = Momen maksimum yang terjadi di sepanjang bentang.

M_{maks} diasumsikan sebesar M_n dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 2.7 Diagram blok tegangan-regangan kolom saat keruntuhan tarik

$$M_n = 0,85 f'_c a b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (\text{lihat gambar 2.7})$$

Tegangan baja tarik diperoleh dari persamaan $f_s = \varepsilon_s E_s$, regangan tulangan baja tarik diperoleh dari pembacaan *strain gauge* pada saat pengujian kolom. Dari diagram regangan (gambar 2.7), maka akan diperoleh rumus tegangan baja tekan yaitu sebesar:

$$f'_s = \frac{c - d'}{d - c} f_s \quad (2-36)$$

Momen inersia terhadap garis netral dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{cr} = \frac{1}{3} b y^3 + n A_s (d - y)^2 + n A'_s (y - d')^2 \quad (\text{untuk tulangan ganda}) \quad (2-37)$$

2.8 Hipotesis Penelitian

Dari uraian teori yang telah dijelaskan dapat diambil hipotesis sebagai berikut: diduga dengan adanya beban tekan eksentris yang dialami oleh kolom beton bertulang berlubang dan kolom beton bertulang tanpa lubang akan mengakibatkan kolom beton bertulang berlubang memiliki nilai lendutan (*defleksi*) yang lebih besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dimulai pada bulan Maret – selesai.

3.2 Peralatan dan Bahan

Sebelum melakukan penelitian, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah persiapan alat dan bahan.

a. Persiapan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

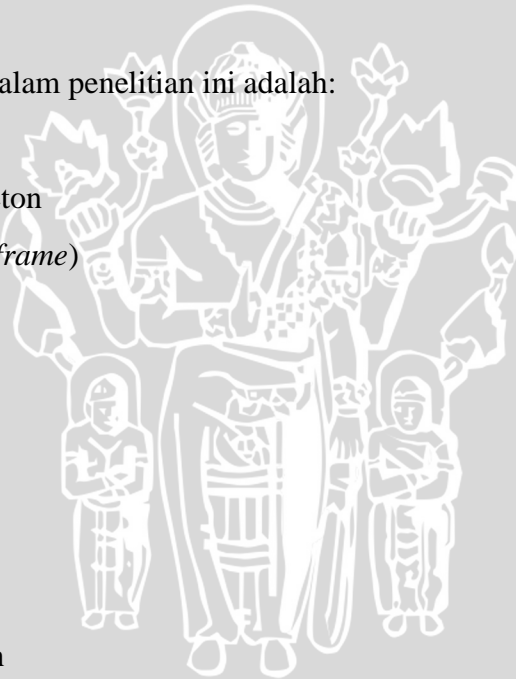
- Timbangan
- Mesin uji tekan beton
- Portal pengujian (*frame*)
- Molen
- *Dial gauge*
- *Strain gauge*
- Jangka sorong
- *Proving ring*
- Alat Uji Tarik

b. Bahan yang diperlukan

- Semen Gresik type 1
- Air yang berasal dari air bersih Perusahaan Air Minum (PDAM), kodya Malang
- Agregat kasar dan pasir (agregat halus) yang digunakan adalah agregat yang dijual di pasaran
- Baja tulangan ukuran \emptyset_6 dan \emptyset_8 yang digunakan sebagai tulangan pada kolom.

3.3 Analisa bahan yang digunakan

- Semen



Semen yang digunakan semen Gresik tipe I dan tidak dilakukan pengujian khusus pada bahan ini.

- Air
Air yang digunakan tidak diuji secara khusus (berasal dari air bersih PDAM kota Malang yang tersedia di laboratorium)
- Pasir dan Kerikil
Agar kondisinya mendekati keadaan yang sebenarnya di lapangan, maka diusahakan tidak dicuci akan tetapi dijaga dari adanya kotoran organik, lumpur, maupun sampah.
- Baja Tulangan
Baja tulangan diuji tarik terlebih dahulu

3.4 Rancangan Penelitian

Rancangan Penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

Tabel 3.1 Rancangan Benda uji kolom 15 /15 dengan tinggi 60 cm

Benda Uji	Perlakuan		
	I	II	III
Kolom berlubang	2x	2x	2x
Kolom tidak berlubang	2x	2x	2x

Benda uji berupa kolom ini dibuat dengan 3 perlakuan.

- Perlakuan I → kolom beton bertulang dengan beban eksentris $e = 8$ cm.
- Perlakuan II → kolom beton bertulang dengan beban eksentris $e = 10$ cm.
- Perlakuan III → kolom beton bertulang dengan beban eksentris $e = 12$ cm

Masing – masing perlakuan memakai 2 buah benda uji sehingga total benda uji adalah 12 buah dan pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari.

3.5 Prosedur Pembuatan Benda Uji

Tahapan-tahapan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

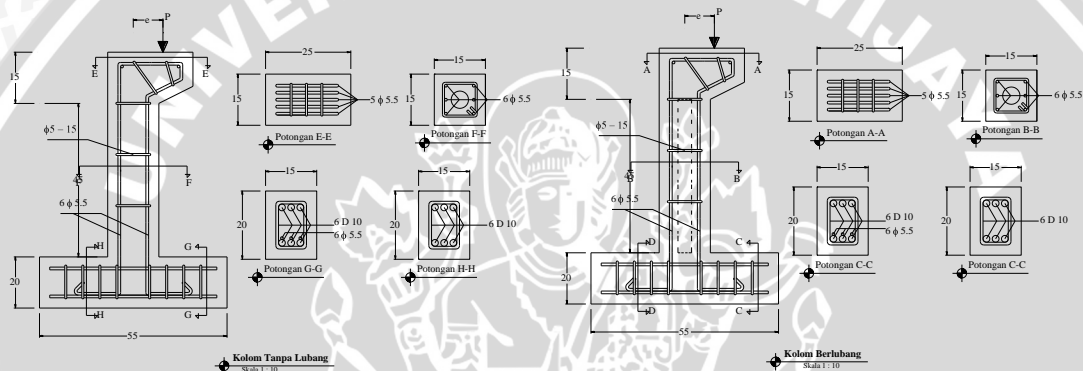
1. Persiapan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji.
2. Pembuatan cetakan beton (bekisting) dan pembuatan cetakan lubang berdiameter 4,5 cm.
3. Pemasangan tulangan dan pemasangan bekisting.
4. Pemasangan bekisting lubang untuk kolom yang berlubang.

5. Pencampuran bahan beton dengan menggunakan mesin pencampur beton (*concrete mixer*).
6. Memasukan campuran adukan beton kedalam bekisting.
7. Perawatan (*curing*).
8. Pelepasan bekisting setelah 28 hari.

3.6 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang kami laksanakan adalah sebagai berikut :

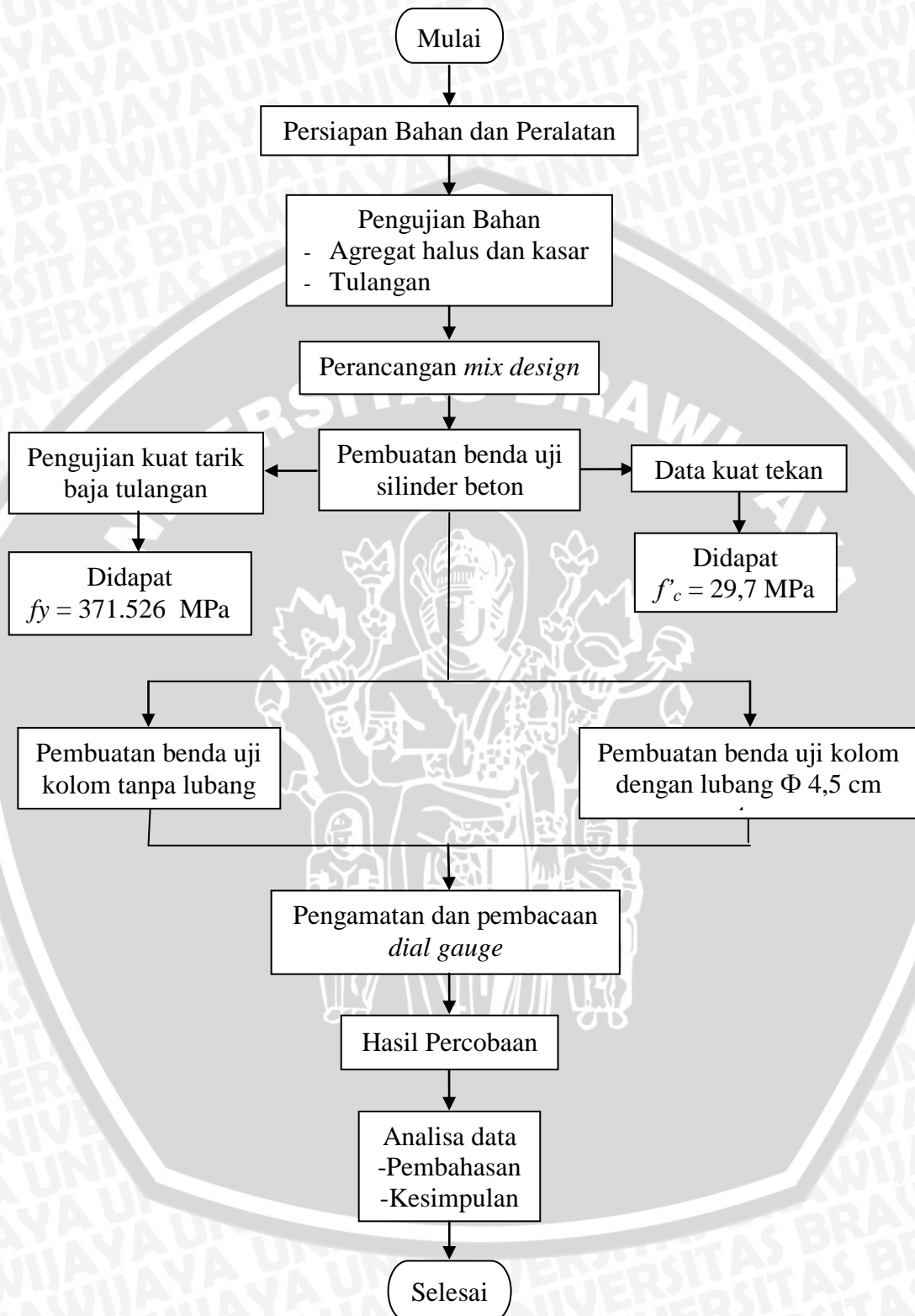
1. Setelah perawatan selama 28 hari sejak pengecoran, pembebanan dilakukan. Kolom beton ditempatkan pada alat uji. Kemudian kolom diberi beban aksial eksentris seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.1 Pembebanan eksentris pada kolom

- 1). Benda uji 1 dengan eksentrisitas $e = 8$ cm dibebani sampai dengan beban runtuh
- 2). Benda uji 2 dengan eksentrisitas $e = 10$ cm dibebani sampai dengan beban runtuh
- 3). Benda uji 3 dengan eksentrisitas $e = 12$ cm dibebani sampai dengan beban runtuh
2. Dilakukan pembebanan pada setiap benda uji dan catat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

3.7 Langkah-langkah Penelitian



3.8 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini antara lain:

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang perubahannya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah eksentrisitas.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah lendutan yang terjadi pada kolom beton bertulang.

3.9 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data didapat dari hasil pengujian benda uji sebanyak 12 buah. Pengambilan data dilakukan melalui pengamatan dan pencatatan hasil lendutan yang terjadi.

3.10 Analisis Data

3.10.1 *Analysis of Variance* (anova)

Hipotesis merupakan suatu pernyataan tentang probabilitas dari suatu distribusi populasi yang mungkin saja dalam pengamatan (kenyataan) dapat betul atau mungkin juga salah. Hipotesis yang diformulasikan dengan harapan ditolak maka dapat dinamakan sebagai hipotesis nol (H_0) dan sebaliknya dengan menolak H_0 berarti akan menerima suatu hipotesis alternatif (H_a) (Samsubar S, 1996: 195).

Dengan demikian, dapat dibuat hipotesis mengenai pengamatan dari penelitian tentang ada tidaknya pengaruh hubungan antara beban tekan dengan gaya geser pada kolom beton bertulang. Untuk mengetahui adanya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dilakukan pengujian hipotesis menggunakan analisis varian (anova) satu arah.

Analisa varian (anova) merupakan metode analisis data dengan tujuan mendapatkan pemecahan terhadap masalah di dalam melakukan suatu penelitian (eksperimen) yang terdiri dua atau lebih populasi (Samsubar S, 1996: 304). Tergolong analisa varian (anova) satu arah lantaran didasarkan hanya pada satu kriteria saja, yang diukur yaitu variasi yang terjadi pada kolom beton bertulang (berlubang dan masif) terhadap gaya geser, tanpa memasukkan variasi ukuran lubang dan variasi eksentrisitas.

Tahapan dalam pengujian hipotesis menggunakan analisis varian satu arah, sebagai berikut :

1. Tentukan hipotesis

H_0 : Tidak terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara nilai μ_A , μ_B , dan μ_C

H_a : Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara nilai μ_A , μ_B , dan μ_C

2. Hipotesis dalam statistika

H_0 : $\mu_A = \mu_B = \mu_C$

H_a : $\mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

3. Tentukan *level of significance* (α)

Nilai α yang digunakan untuk penelitian ini adalah 0,05 (5%)

4. Buat tabel penolong anova untuk kolom berlubang atau kolom tidak berlubang.

Tabel 3.2 Tabel Penolong Anova

No responden	Nilai eksentrisitas (mm)					
	e=80		e=100		e=120	
Nilai f_s	X_{11}	$X_{11'}$	X_{21}	$X_{21'}$	X_{31}	$X_{31'}$
	X_{12}	$X_{12'}$	X_{22}	$X_{22'}$	X_{32}	$X_{32'}$
	X_{13}	$X_{13'}$	X_{23}	$X_{23'}$	X_{33}	$X_{33'}$

	Σn_1	$\Sigma n_{1'}$	Σn_2	$\Sigma n_{2'}$	Σn_3	$\Sigma n_{3'}$
	ΣX_{1n}	$\Sigma X_{1n'}$	ΣX_{2n}	$\Sigma X_{2n'}$	ΣX_{3n}	$\Sigma X_{3n'}$
	\bar{X}_1	$\bar{X}_{1'}$	\bar{X}_2	$\bar{X}_{2'}$	\bar{X}_3	$\bar{X}_{3'}$
	s_1^2	$s_{1'}^2$	s_2^2	$s_{2'}^2$	s_3^2	$s_{3'}^2$

5. Hitung nilai jumlah kuadrat SS_t , SS_b , dan SS_w .

$$SS_t = \sum X^2 - \frac{G^2}{N} \quad (3-1)$$

$$SS_b = \sum \frac{T^2}{n} - \frac{G^2}{N} \quad (3-2)$$

$$SS_w = SS_t - SS_b \quad (3-3)$$

6. Hitung jumlah kuadrat antarkelompok.

$$dkSS_t = N - 1 \quad (3-4)$$

$$dkSS_w = N - k \quad (3-5)$$

$$dkSS_b = k - 1 \quad (3-6)$$

7. Hitung deviasi rata-rata kuadrat

$$MS_b = \frac{SS_b}{dk SS_b} \quad (3-7)$$

$$MS_w = \frac{SS_w}{dk SS_w} \quad (3-8)$$

8. Cari F_{hitung} dan F_{tabel}

$$F_{hitung} = \frac{MS_b}{MS_w} \quad (3-9)$$

$$F_{tabel} = F(dkSS_b, dkSS_w) \quad (3-10)$$

9. Buat kesimpulan dengan membandingkan nilai F_{tabel} dan F_{hitung} , jika nilai $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka H_0 diterima, demikian pula sebaliknya.

Sesudah perhitungan dan membandingkan F_{hitung} dan F_{tabel} , analisis sebenarnya belum selesai. Hal ini disebabkan karena kesimpulan yang didasarkan pada perhitungan dalam Anova masih merupakan kesimpulan yang masih kasar (luas). (Agus Irianto, 2004: 232). Seandainya kesimpulan adalah menolah hipotesis nol (H_0) berarti terdapat perbedaan terhadap perlakuan kelompok yang diberikan, hal ini lebih kentara jika perlakuan kelompok yang diberikan lebih dari dua, (misal digunakan tiga) maka terdapat tiga kemungkinan, sebagai berikut :

- $\mu_A = \mu_B \neq \mu_C$
- $\mu_A \neq \mu_B = \mu_C$
- $\mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

Untuk mendapatkan deskripsi yang lebih jelas maka dilanjutkan dengan analisis pasca Anova, salah satu diantaranya yang sering dipakai adalah metode Tukey's HSD, sebagai berikut:

1. Hitung Tukey's HSD dengan persamaan.

$$HSD = q \sqrt{\frac{MS_w}{n}} \quad (3-11)$$

2. Cari perbedaan rata-rata antar kelompok dan interpretasikan dan bandingkan nilainya.
3. Buat kesimpulan untuk perlakuan kelompok mana yang lebih memberikan perbedaan rata-rata signifikan.

3.8.2. Analisis Regresi Linear Tunggal

Jikalau kita mempunyai dua buah variabel atau lebih maka sudah sewajarnya kita ingin mempelajari bagaimana variabel-variabel itu berhubungan atau dapat diramalkan. Hubungan yang diperoleh biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel (Husnaini Usman, 1995: 215).

Variabel yang mempengaruhi dalam analisis regresi disebut sebagai variabel prediktor dengan lambang X, sedangkan variabel yang dipengaruhi disebut variabel kriterium dengan lambang Y. Hubungan fungsional antara satu variabel prediktor dengan satu variabel kriterium disebut analisis regresi linear tunggal.

Persamaan analisis regresi:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (3-12)$$

dengan \hat{Y} = variabel kriterium

X = variabel prediktor

a = bilangan konstan

b = koefisien arah regresi linear

Tahapan dalam pengujian hipotesis menggunakan analisis varian satu arah, sebagai berikut:

1. Buat hipotesis dalam bentuk kalimat.
 H_0 : terdapat hubungan fungsional linear dan signifikan antara variabel X dan Y.
 H_a : tidak terdapat hubungan fungsional linear dan signifikan antara variabel X dan Y
2. Tulis hipotesis dalam bentuk statistik.
 H_0 : $r \neq 0$
 H_a : $r = 0$
3. Buat tabel penolong perhitungan untuk regresi tunggal.

Tabel 3.3 Tabel penolong perhitungan untuk regresi tunggal

No. Responden	X_i	Y_i	$X_i Y_i$	X_i^2	Y_i^2
1					
2					
.					
.					
n					
	ΣX_i	ΣY_i	$\Sigma X_i Y_i$	ΣX_i^2	ΣY_i^2

4. Hitung a dan b dengan rumus:

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (3-13)$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (3-14)$$

5. Masukkan nilai a dan b dalam persamaan (3-12)

6. Ujilah signifikansi dan linearitas persamaan regresi tersebut dengan menggunakan tabel penolong yang disebut tabel *Analysis of Varians* (anova) dengan bentuk tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Tabel *Analysis of Varians* (anova)

Sumber Variasi	dk	Jumlah Kuadrat (JK)	Rata-rata Jumlah Kuadrat (RJK)	F
Total	n	$\sum Y_i^2$		
Regresi (a)	1	$JK_{(reg a)} = \frac{(\sum Y_i)^2}{n}$	$RJK_{(reg a)} = JK_{(reg a)}$	$F_{(sign)} = \frac{RJK_{(reg bla)}}{RJK_{(res)}}$
Regresi (bIa)	1	$JK_{reg(bIa)} = b \sum X_i Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n}$	$RJK_{(reg bla)} = JK_{(reg bla)}$	
Residu	n-2	$JK_{res} = \sum Y_i^2 - JK_{reg(bIa)} - JK_{reg(a)}$	$RJK_{(E)} = \frac{JK_{res}}{n-2}$	
Tidak Cocok (TC)	k-2	$JK_{(TC)} = JK_{res} - JK_{(E)}$	$RJK_{(TC)} = \frac{JK_{(TC)}}{k-2}$	$F_{(line)} = \frac{RJK_{(TC)}}{RJK_{(E)}}$
Kekeliruan (E)	n-k	$JK_{(E)} = \sum_x \sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n}$	$RJK_{(E)} = \frac{JK_{(E)}}{n-k}$	

7. Tentukan taraf signifikasinya (α).
8. Cari F_{sign} tabel dengan rumus $F_{sign\ tabel} = F_{(1-\alpha)(dk_{reg(bIa)}, dk_{res})}$ dan dengan melihat tabel F didapat nilai F_{sign} tabel.
9. Cari F_{line} tabel dengan rumus $F_{line\ tabel} = F_{(1-\alpha), dk(TC), dk(E)}$ dan dengan melihat tabel F didapat nilai F_{line} tabel.
10. Bandingkan masing-masing F_{line} dan F_{sign} berdasarkan hitung dan tabel F, dengan kriteria sebagai berikut:
 - Jika $F_{sign\ hitung} \leq F_{sign\ tabel}$, maka H_0 diterima.
 - Jika $F_{line\ hitung} \leq F_{line\ tabel}$, maka H_0 diterima.
11. Buat kesimpulan berdasarkan kriteria pengujian.

BAB IV**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN****4.1 Sifat-sifat Bahan Penyusun Kolom Beton Bertulang**

Pengujian utama dari penelitian ini adalah pengujian pembebanan kolom dengan beban tekan eksentris. Beberapa pengujian lain dilakukan untuk melengkapi data yang diperlukan oleh pengujian utama, antara lain : analisa agregat halus, analisa agregat kasar, uji tarik tulangan baja, pengujian beton segar dengan slump dan uji kuat tekan beton keras dengan benda uji silinder.

4.1.1 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Portland Cement type 1 produksi PT. Semen Gresik yang umum digunakan sehingga tidak dilakukan pengujian khusus terhadap semen.

4.1.2 Air

Dalam penelitian ini air yang digunakan adalah air PDAM Kodya Malang yang tersedia di laboratorium dan tidak dilakukan pengujian terhadap air.

4.1.3 Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir alami dari daerah Malang. Dari hasil analisis ayakan didapat pasir termasuk daerah gradasi no. 2. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian Agregat Halus

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus halus	2.566
Berat jenis SSD	2.604
Berat isi (gr/ml)	1.441
Absorpsi (%)	1.626

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan



4.1.4 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dengan ukuran 20 mm yang berasal dari Malang. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Agregat Kasar

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus halus	6.855
Berat jenis SSD	2.695
Berat isi (gr/ml)	1.653
Absorpsi (%)	1.958

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan

4.1.5 Baja Tulangan

Pemeriksaan tegangan leleh rata-rata baja tulangan dilakukan di laboratorium struktur Fakultas Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tegangan Leleh Baja Tulangan

Diameter Baja (mm)	No.	Tegangan (Mpa)	Tegangan Rata-rata (Mpa)
6	1	305.455	373.334
	2	407.273	
	3	407.273	
8	1	361.485	371.526
	2	376.547	
	3	376.547	

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan

4.2 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dan kemudahan pengerjaan campuran adukan beton. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengujian Slump

Pengecoran	Faktor Air Semen	Slump (cm)
1	0.38	19
2	0.38	10
3	0.38	10
4	0.38	9
5	0.38	8.2
6	0.38	8
7	0.38	8
8	0.38	8

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan

4.3 Pengujian Beton Keras

Pada beton keras dilakukan pengujian kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada tabel 4.5.

No. Benda Uji	Berat (kg)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum (kg)	Tegangan Benda Uji (x) (kg/cm ²)	(x - \bar{x}) ²
1	14.85	0.00280	51291.715	290.252	13470.440
2	14.9	0.00281	57002.124	322.566	7013.713
3	12.4	0.00234	60673.102	343.340	3965.779
4	12.25	0.00231	64140.136	362.959	1879.659
5	12.5	0.00236	69238.716	391.811	210.336
6	12.75	0.00241	70564.347	399.313	49.020
7	12.7	0.00240	71686.035	405.660	0.428
8	12.4	0.00234	71889.978	406.814	0.250
9	12.65	0.00239	74949.126	424.125	317.244
10	12.35	0.00233	75662.927	428.165	477.450
11	14.65	0.00276	77600.388	439.128	1076.786
12	14.65	0.00276	77906.302	440.859	1193.394
13	12.8	0.00241	82800.939	468.557	3874.255
14	14.65	0.00276	84432.485	477.790	5108.843
15	14.8	0.00279	87185.718	493.370	7578.797
Jumlah				6094.709	46216.392

$$\text{Rata-rata tegangan } (\bar{x}) = \frac{\sum x}{n} = \frac{6094,709}{15} = 406,314 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Nilai deviasi standar} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{46216,392}{15-1}} = 57,456 \text{ kg/cm}^2$$

Faktor pengali deviasi standar = 1,16 (karena benda uji berjumlah 15 buah)

Nilai tambah (M) = $K \times Sd$

Keterangan :

M = nilai tambah

K = 1,64

Sd = Standar deviasi

Sehingga nilai M didapat

$$\begin{aligned} M &= 1,64 \times 57,456 \\ &= 109,304 \end{aligned}$$

Kekuatan tekan beton rata-rata dapat dirumuskan

$$\begin{aligned} f'_c &= \text{Rata-rata tegangan} - \text{Nilai tambah} \\ &= 406,314 - 109,304 \\ &= 297,010 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4.4 Campuran Beton

Untuk mendapatkan perbandingan campuran beton digunakan teori perancangan proporsi campuran adukan beton cara Inggris "*The British Standard / Department of Environment*". Perhitungan proporsi campuran dapat dilihat pada Lampiran II.

4.5 Pengujian Kolom

Uji pembebanan dilakukan pada frame uji yang telah dipasang dongkrak yang dihubungkan dengan pompa. Kolom yang akan diuji dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu kolom tanpa lubang dengan dimensi (15 × 15 × 45) cm dan kolom berlubang dengan diameter lubang 4,5 cm dan dimensi (15 × 15 × 45) cm. Total benda uji sebanyak 12 buah, dengan macam pengujian dibedakan dalam 6 kelompok berdasarkan pada perlakuan yang berbeda. Hal ini dapat ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Pengelompokan dan perlakuan kolom

No	Perlakuan Kolom	e = 8 cm	e = 10 cm	e = 12 cm
		1	Tanpa lubang	2 benda uji
2	Berlubang	2 benda uji	2 benda uji	2 benda uji

4.6 Pengujian Hipotesis

4.6.1. Pengujian hipotesis tentang pengaruh eksentrisitas pada nilai lendutan

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh eksentrisitas baik pada kolom tidak berlubang ataupun pada kolom berlubang beton bertulang maka dilakukan teknik analisis statistik Anova satu arah yang mempunyai kemampuan membedakan antar banyak kelompok dengan resiko kesalahan yang sekecil mungkin serta dapat memberikan informasi tentang interaksi yang lebih signifikan sehubungan dengan hubungan antara variabe bebas terhadap variabel terikat. Hipotesis yang diambil sebagai berikut :

H_0 : Hipotesis awal yang menyatakan bahwa variasi eksentrisitas tidak memberikan pengaruh terhadap nilai lendutan pada kolom beton bertulang baik untuk kondisi tidak berlubang ataupun kondisi berlubang.

H_a : Hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa variasi eksentrisitas memberikan pengaruh terhadap nilai lendutan pada kolom beton bertulang baik untuk kondisi tidak berlubang ataupun kondisi berlubang.

Dan dapat ditentukan pula dari ketiga eksetrisitas yang dapat memberikan nilai positif (signifikan) pada kolom tidak berlubang ataupun berlubang beton bertulang.

4.6.2 Analisis Regresi

Untuk mendapatkan hubungan fungsional linear antara beban aksial sebagai variabel bebas terhadap pengaruh lendutan sebagai variabel terikat maka dilakukan uji statistik analisis regresi. Untuk mengetahui apakah hubungan variabel adalah linear, dibuat hipotesis :

H_0 : Hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak terdapat hubungan yang linear antara tegangan baja (f_s) terhadap lendutan dengan eksentrisitas yang dimaksud.

H_a : Hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa terdapat hubungan yang linear antara tegangan baja (f_s) terhadap lendutan dengan eksentrisitas yang dimaksud.

Untuk mengetahui apakah hubungan f_s memberikan pengaruh yang signifikan (positif) terhadap lendutan, dibuat hipotesis:

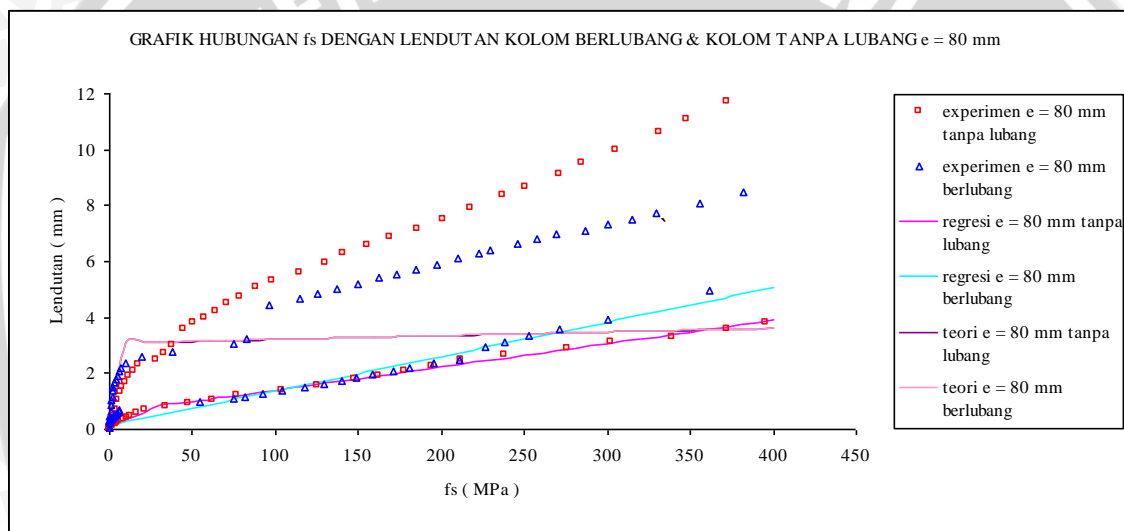
H_0 : Hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan antara tegangan baja (f_s) terhadap lendutan dengan eksentrisitas yang dimaksud.

H_a : Hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara tegangan baja (f_s) terhadap lendutan dengan eksentrisitas yang dimaksud.

4.7 Pembahasan

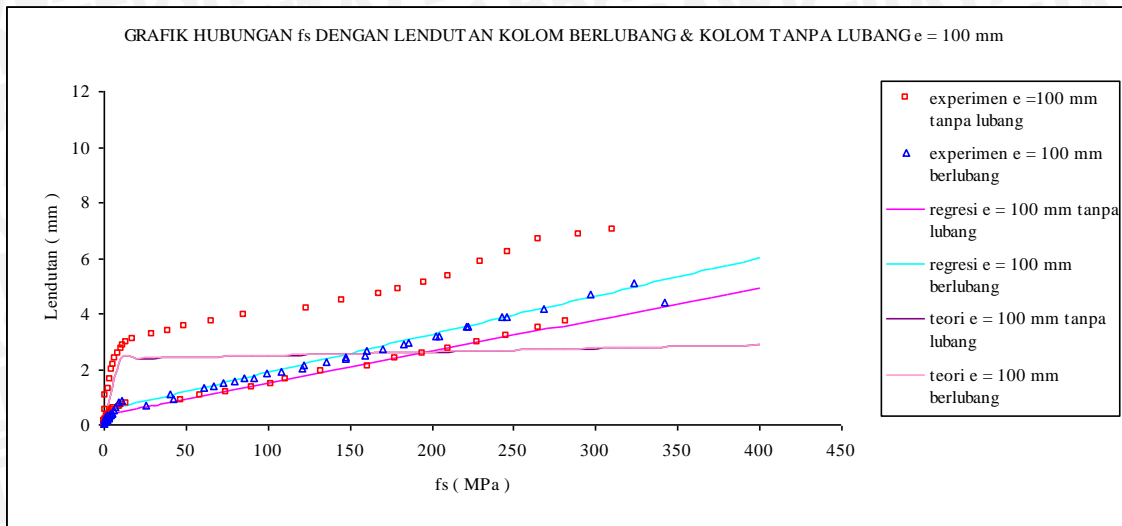
4.7.1 Pembahasan Pengaruh Beban Tekan Eksentris Terhadap Lendutan Pada Kolom Tanpa Lubang dan Kolom Berlubang

Dari hasil pengujian laboratorium didapatkan nilai regangan tulangan tarik dan lendutan untuk kolom berlubang dan kolom tanpa lubang dengan prosentase lubang 7 %. Dalam melakukan pembacaan *dial gauge* untuk memperoleh nilai lendutan terjadi kekeliruan dalam pembacaan, sehingga data yang diperoleh sangat berbeda jauh antara benda uji 1 dan benda uji 2 untuk eksentrisitas yang sama (kecuali data pada eksentrisitas 120 mm), dan data yang digunakan dalam pembahasan ini adalah data yang mendekati nilai teoritis. Data ini kemudian diolah (lampiran 10 dan 11) dan ditampilkan dalam grafik berikut ini:



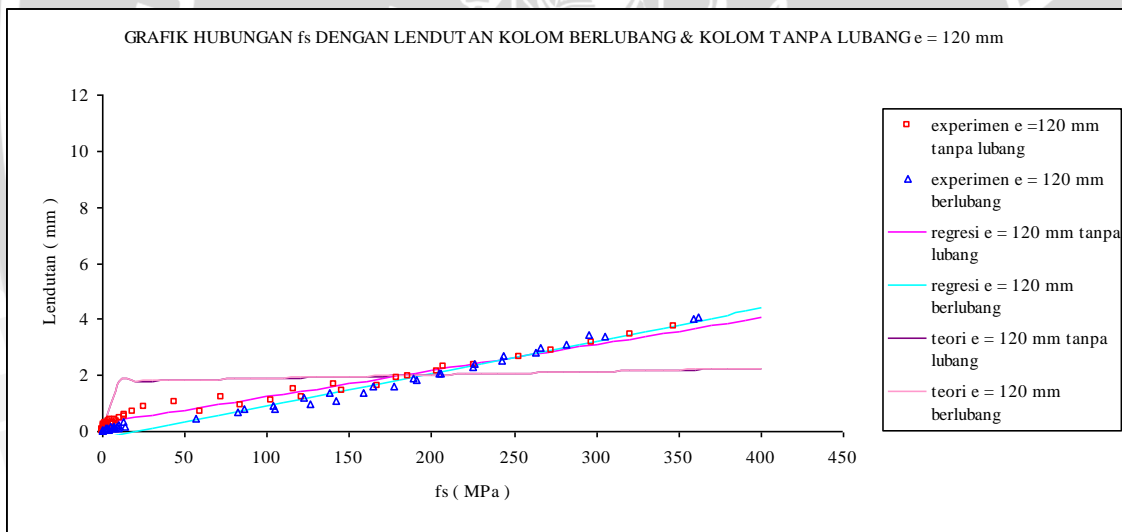
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Lendutan – f_s dengan eksentrisitas 80 mm

Dari grafik 4.1 (regresi) dapat diketahui nilai lendutan pada saat tulangan tarik mengalami leleh ($f_y = 371.526$ MPa) yaitu sebesar 3,659 mm pada kolom tanpa lubang; sedangkan pada kolom berlubang sebesar 4,717 mm.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Lendutan – f_s dengan eksentrisitas 100 mm

Dari grafik 4.2 (regresi) dapat diketahui nilai lendutan pada saat tulangan tarik mengalami leleh ($f_y = 371.526$ MPa) yaitu sebesar 4,608 mm pada kolom tanpa lubang; sedangkan pada kolom berlubang sebesar 5,628 mm.



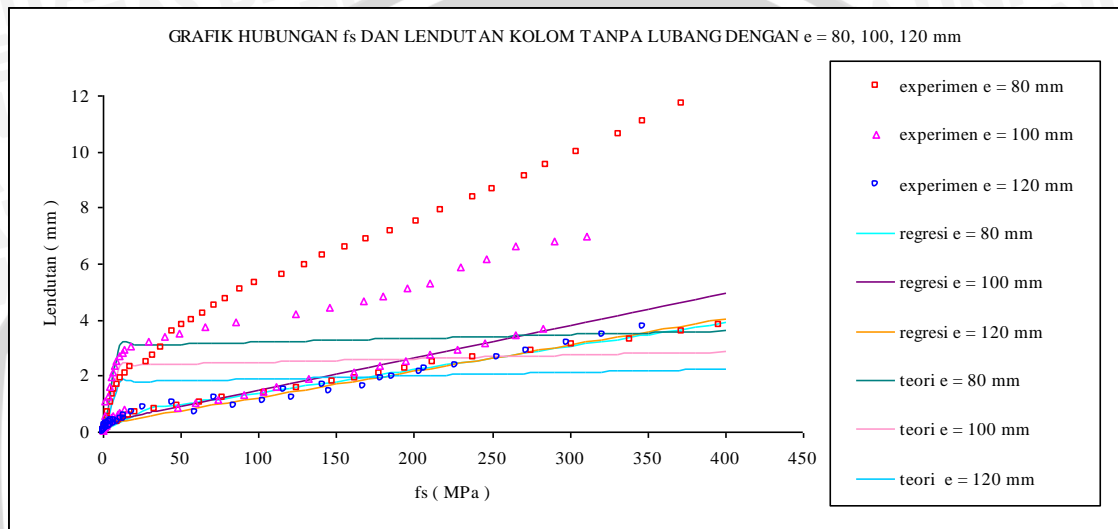
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Lendutan – f_s dengan eksentrisitas 120 mm

Dari grafik 4.3 (regresi) dapat diketahui nilai lendutan pada saat tulangan tarik mengalami leleh ($f_y = 371.526$ MPa) yaitu sebesar 3,782 mm pada kolom tanpa lubang; sedangkan pada kolom berlubang sebesar 4,064 mm.

Pada saat eksentrisitas 80 mm, kolom berlubang mengalami kenaikan lendutan sebesar 22,429 %. Sedangkan pada eksentrisitas 100 mm, kolom berlubang mengalami kenaikan lendutan sebesar 18,124 %. Kenaikan prosentase lendutan yang terjadi pada saat eksentrisitas 120 mm yaitu sebesar 6,939 %.

Lendutan pada kolom berlubang semakin besar dibandingkan dengan kolom tanpa lubang, pada saat nilai beban tekan eksentris yang sama. Prosentase kenaikan nilai lendutan terbesar terjadi pada saat eksentrisitas 80 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dekat eksentrisitas suatu beban terhadap lubang maka nilai lendutan akan bertambah naik. Akan tetapi prosentase kenaikan lendutan tidak signifikan.

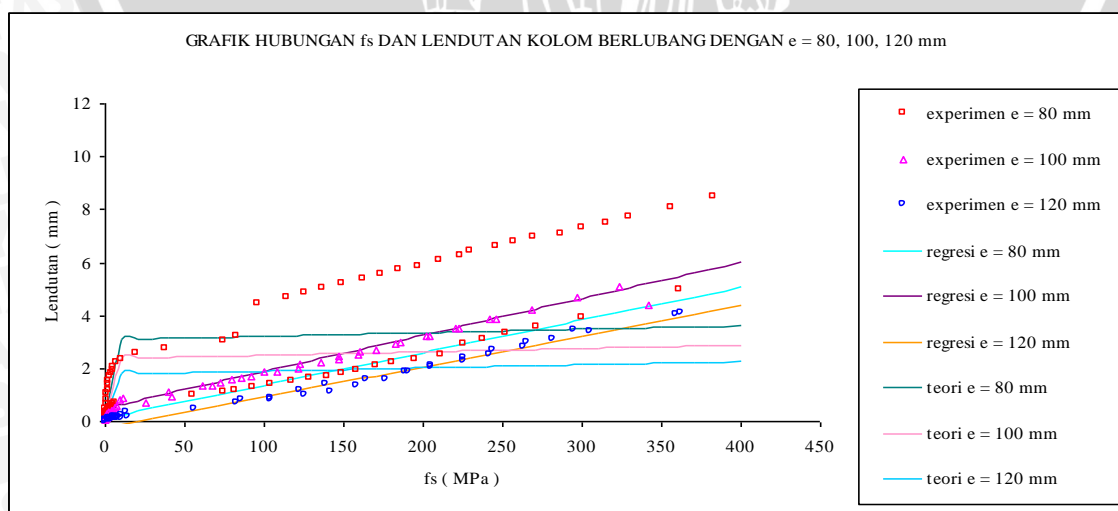
Eksentrisitas juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai lendutan. Hal ini dapat dilihat dari grafik berikut ini:



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Lendutan – f_s dengan eksentrisitas 80, 100, 120 mm

Dari grafik 4.4 (regresi) dapat diketahui nilai lendutan kolom tanpa lubang pada saat tulangan tarik mengalami leleh ($f_y = 371.526$ MPa) adalah sebagai berikut:

1. Untuk eksentrisitas 80 mm lendutannya sebesar 3,659 mm.
2. Untuk eksentrisitas 100 mm lendutannya sebesar 4,608 mm.
3. Untuk eksentrisitas 120 mm lendutannya sebesar 3,782 mm.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Lendutan – f_s dengan eksentrisitas 80, 100, 120 mm

Dari grafik 4.5 dapat diketahui nilai lendutan kolom berlubang pada saat tulangan tarik mengalami leleh ($f_y = 371.526 \text{ MPa}$) adalah sebagai berikut:

1. Untuk eksentrisitas 80 mm lendutannya sebesar 4,717 mm.
2. Untuk eksentrisitas 100 mm lendutannya sebesar 5,628 mm.
3. Untuk eksentrisitas 120 mm lendutannya sebesar 4,064 mm.

Dari hasil uji statistik anova menyatakan bahwa variasi eksentrisitas tidak memberikan pengaruh terhadap nilai lendutan secara signifikan pada kolom beton bertulang baik untuk kondisi tidak berlubang ataupun kondisi berlubang. Hal ini dikarenakan jarak antar eksentrisitas yang terlalu kecil.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada saat beban tekan eksentris yang sama nilai lendutan kolom berlubang lebih besar bila dibandingkan dengan kolom tanpa lubang.
2. Hasil uji statistik dengan anova satu arah dapat diperoleh hasil bahwa eksentrisitas tidak memberikan pengaruh terhadap nilai lendutan secara signifikan.
3. Prosentase kenaikan nilai lendutan terbesar terjadi pada saat eksentrisitas 80 mm yaitu sebesar 22,429 %.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Usahakan panjang konsol lebih panjang daripada eksentrisitas terjauh dengan memberikan jarak overlap minimal 5 cm dari titik eksentrisitas terjauh.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memberikan variasi dan perilaku yang berbeda, seperti variasi lubang, tipe keruntuhan, jenis kolom, kondisi tumpuan dan sebagainya untuk menambah keilmuan dan wawasan.
3. Usahakan dongkrak tidak terpasang di frame, agar tidak mempengaruhi nilai lendutan.
4. Para peneliti hendaknya mempelajari betul proses pengujian agar bila melakukan penelitian dapat meminimalisasikan kesalahan di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1989. *Perhitungan Konstruksi Beton Bertulang berdasarkan Pedoman Beton 1989*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Binsar Hariandja, Charles G. Salmon, Chu Kia Wang. 1994. *Desain Beton Bertulang*. Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar*. Bandung: PT. Eresco.
- Riduwan, Drs.M.B.A. dan Akdon, Dr.M.Pd. 2005. *Rumus dan Data dalam Aplikasi Statistika*. Alfabeta.
- Saleh, Samsubar. 1996. *Statistik Induktif*. Yogyakarta: UPP AMP YKPN.
- Gere, James M. dan Stephen P. Timoshenko. 1996. *Mekanika Bahan*. Jilid II. Jakarta: Erlangga.
- Anonim. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Studi Perencanaan Institut Teknologi Bandung.
- Usman, Husnaini, MPd dan R. Purnomo Setiady Akbar, S.Pd MPd. *Pengantar Statistika*. 2003. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Wahyudi L. dan Syahril A. Rahim. 1997. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.