

**PENGARUH BEBAN TEKAN EKSENTRIS
PADA KOLOM BETON BERTULANG BERLUBANG
TERHADAP KAPASITAS LENTUR**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Diajukan oleh :

LUDY AGUS SETYAWAN

0210610045

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

2007

**PENGARUH BEBAN TEKAN EKSENTRIS
PADA KOLOM BETON BERTULANG BERLUBANG
TERHADAP KAPASITAS LENTUR**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

LUDY AGUS SETYAWAN
0210610045

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Ir. Arifi Soenaryo
NIP. 130 350 755

**PENGARUH BEBAN TEKAN EKSENTRIS
PADA KOLOM BETON BERTULANG BERLUBANG
TERHADAP KAPASITAS LENTUR**

Disusun oleh :

LUDY AGUS SETYAWAN

NIM 0210610045

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 9 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI

Prof. Dr. Ir. Agoes SMD., MS

NIP. 131 276 254

Ir. Arifi Soenaryo

NIP. 130 350 755

Ir. Wisnumurti, MT

NIP. 131 879 046

Mengetahui :

Ketua Jurusan Sipil

Ir. As'ad Munawir, MT

NIP. 131 574 850

RINGKASAN

LUDY AGUS SETYAWAN, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2007, Pengaruh Beban Tekan Eksentris Pada Kolom Beton Bertulang Berlubang Terhadap Kapasitas Lentur, Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono MD., MS. dan Ir. Arifi Soenaryo.

Pekerjaan struktur seringkali ditekankan pada aspek estetika, untuk mempertahankan aspek tersebut biasanya instalasi baik perpipaan maupun kelistrikan pada akhirnya dimasukan kedalam struktur seperti pada kolom. Untuk itu SNI 03 – 2847 – 2002 mensyaratkan bahwa saluran dan pipa, bersama kaitnya, yang ditanam pada kolom tidak boleh menempati lebih dari 4% luas penampang yang diperlukan untuk kekuatan atau untuk perlindungan terhadap kebakaran. Apabila persentase lubang lebih dari 4%, maka besarnya lubang harus diperhitungkan terhadap pegasaruh kekuatannya.

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi beban tekan eksentrisitas yang diberikan pada kolom terhadap kapasitas lentur pada kolom tidak berlubang dan kolom berlubang dengan lubang sebesar 7 % dari lusa penampang kolom. Untuk pelaksanaan penelitian ini dibuat benda uji berupa kolom pendek dengan dimensi 150 mm × 150 mm yang panjangnya 450 mm, dengan diameter lubang sebesar 45mm, kolom direncanakan mengalami keruntuhan tarik dengan kondisi tumpuan terjepit. Eksentrisitas yang direncanakan sebesar 80 mm, 100 mm, 120 mm, dan variabel yang diamati berupa regangan tulangan tarik.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya pemberian lubang pada kolom tidak terjadi perubahan yang mencolok antara kapasitas kolom berlubang dan kolom tanpa lubang. Pada eksentrisitas 80 mm perbedaan kapasitas lentur antara berlubang dan tidak berlubang sebesar 0,41 %, pada eksentrisitas 100 mm perbedaannya sebesar 0,71 % dan sedangkan pada eksentrisitas 120 mm tidak terdapat perbedaan. Hal ini disebabkan pada keruntuhan tarik untuk eksentrisita 80 mm, 100 mm, 120 mm memiliki daerah tekan beton berada diatas lubang. Sedangkan untuk penambahan eksentrisitas baik pada kolom berlubang maupun kolom tanpa lubang memiliki perbedaan kapasitas lentur yang jauh berbeda.

Kata kunci : Struktur, kolom, kapasitas lentur

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayahnya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi Pengaruh Beban Tekan Eksentris pada Kolom Beton Bertulang Berlubang terhadap Kapasitas Lentur sesuai dengan waktunya.

Skripsi ini disusun untuk mengetahui pengaruh adanya lubang terhadap besarnya kapasitas lentur yang terjadi pada penampang kolom beton bertulang yang diberi beban tekan eksentris.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan pengetahuan, pengalaman serta kemampuan dalam melaksanakan sebuah penelitian. Untuk itu penyusun sangat mengharapkan sumbangan baik berupa saran maupun kritik yang membangun guna kesempurnaan skripsi ini.

Dengan terselesaikannya skripsi ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuannya, khususnya kepada :

- Mama, papa dan seluruh keluarga
- Bapak Agoes Soehardjono selaku dosen pembimbing
- Bapak Arifi Soenaryo selaku dosen pembimbing
- Bapak Wisnumurti selaku dosen penguji
- Bapak As'ad Munawir selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Teman-teman sipil angkatan 2002 serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penyusun berharap semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat menambah wawasan keilmuan bagi para pembaca, Amin.

Malang, Agustus 2007

Penyusun

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. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Tujuan Penelitian	3
1.6. Manfaat Peneliyian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kolom	4
2.3. Jenis Kolom	4
2.3. Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Sentris	6
2.3.1. Kolom pendek	6
2.3.2. Kolom dengan beban sentris	7
2.4. Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Eksentris	9
2.4.1. Penampang kolom bertulangan seimbang	9
2.4.2. Keruntuhan tekan	10
2.4.3. Keruntuhan tarik	11
2.5. Penggunaan Diagram Interaksi	12
2.6. Kapasitas Kolom Berlubang	14
2.7. 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	17
3.4. Rancangan Penelitian	17
3.5. Prosedur Pembuatan Benda Uji	18
3.6. Prosedur Penelitian	18
3.7. Variabel Penelitian	19
3.8. Metode Pengumpulan Data	19
3.9. Analisis Data	19
3.9.1. <i>Analysis of variance</i> (anova)	19
3.9.2. Analisis regresi linear tunggal	21
3.10. Langkah-langkah Penelitian	24
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
4.7. Pembahasan	29
4.7.1. Pembahasan pengaruh lubang terhadap kapasitas lentur kolom	29
4.7.2. Pembahasan pengaruh eksentrisitas terhadap kapasitas lentur kolom tanpa lubang dan berlubang	32
V. PENUTUP	33
5.1. Kesimpulan	33
5.2. Saran	33

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemasangan instalasi pipa dan instalasi listrik yang tertanam pada elemen struktur kolom sering dijadikan alasan estetika, tanpa memperhatikan pengaruh pengurangan kekuatan kolom yang diakibatkan oleh adanya lubang instalasi tersebut.

Peraturan *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 atau untuk perlindungan terhadap kebakaran. Sehingga apabila lebih besar dari 4% maka pengaruh lubang perlu diperhitungkan terhadap kekuatannya, mengingat elemen struktur adalah lebih penting dari elemen yang lain.

Suatu komponen struktur harus memiliki kekuatan untuk mengatasi beban luar yang terjadi. Kekuatan yang dimaksudkan adalah kemampuan suatu struktur menahan lenturan. Kapasitas lentur pada struktur ditujukan untuk menahan momen luar yang bekerja pada struktur tersebut.

Perencanaan komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga struktur mampu menahan beban maupun lenturan sewaktu mendukung beban kerja, dan masih mempunyai cukup keamanan serta cadangan kekuatan untuk menahan beban dan tegangan lebih lanjut tanpa mengalami runtuh. Timbulnya tegangan-tegangan lentur akibat terjadinya momen karena beban luar dan tegagnagn tersebut merupakan faktor yang menentukan dalam menetapkan dimensi geometris penampang komponen struktur.

Beton normal memiliki kekuatan tekan yang tinggi dan ketahanan terhadap tarik yang rendah. Oleh karena beton lemah dalam menahan tarik, biasanya pada struktur beton dikombinasikan dengan baja tulangan sebagai elemen penahan tarik.

Kombinasi yang dimiliki oleh elemen pada struktur beton baik tarik maupun tekan merupakan kontribusi kekuatan yang dimiliki struktur beton bertulang untuk menahan beban luar yang bekerja pada elemen struktur tersebut.

1.2 Identifikasi Masalah

Penggunaan lubang untuk penanaman instalasi air maupun listrik pada kolom beton bertulang semakin banyak digunakan, namun kapasitas momen yang dapat dihasilkan oleh kolom beton bertulang belum dapat diketahui dengan pasti. Sehingga dalam pelaksanaan konstruksi hal ini dapat menyulitkan penentuan kekuatan kolom. SNI 03-2847-2002 menerangkan bahwa saluran dan pipa bersama kaitnya yang ditanam pada kolom, akan mengalami penurunan kekuatan yang cukup berarti jika luasannya lebih dari empat persen luas penampang yang diperlukan untuk kekuatan.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penambahan beban tekan eksentris pada kolom berlubang terhadap kapasitas lenturnya ?
2. Bagaimana pengaruh pemberian lubang sebesar 7 % dari luas penampang kolom terhadap kapasitas lenturnya ?

1.4 Batasan Masalah

Supaya tercapai maksud dan tujuan yang diinginkan, maka dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah, meliputi :

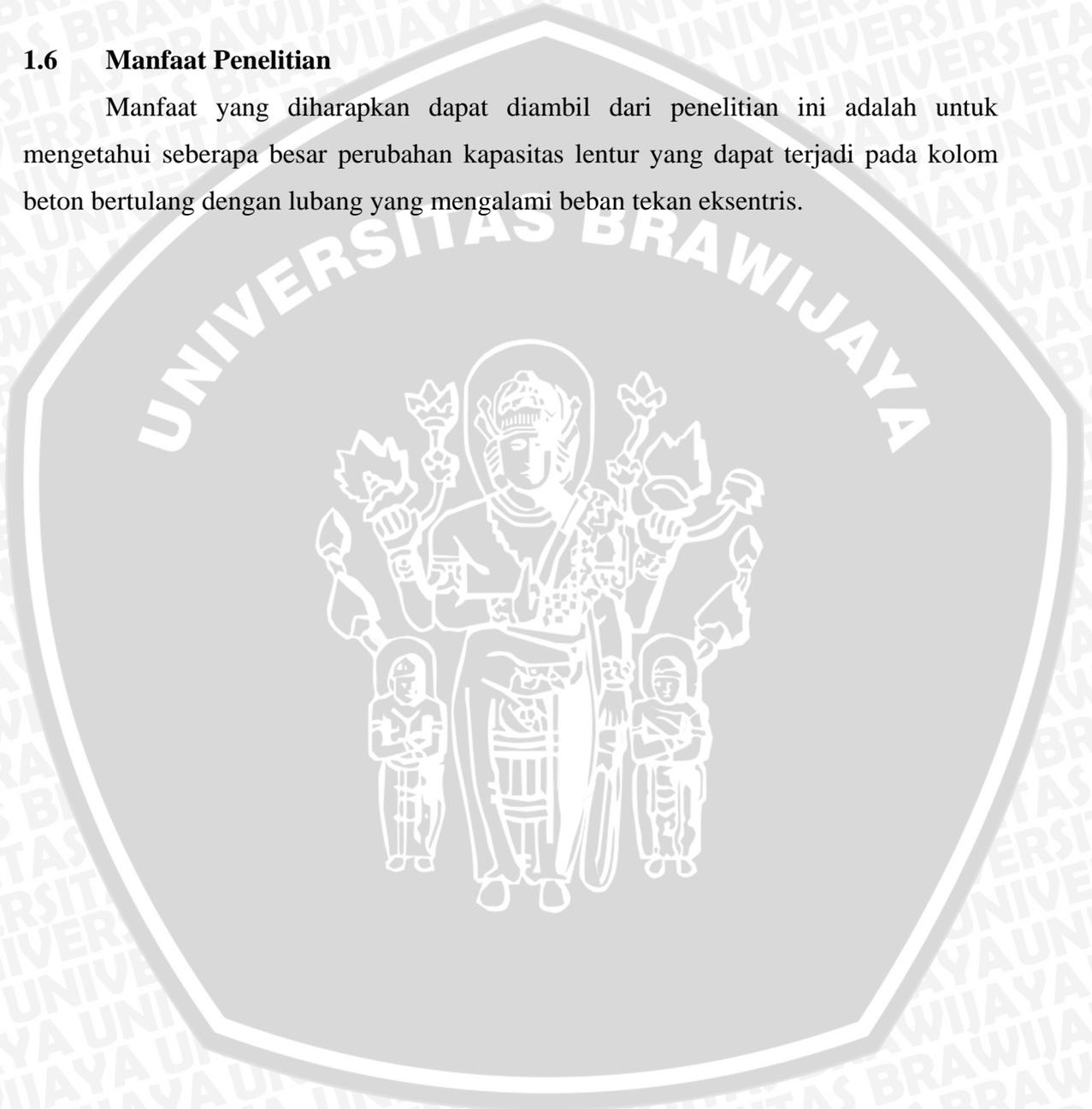
1. Benda uji kolom yang digunakan adalah kolom pendek dengan penampang persegi.
2. Jumlah dan luas tulangan ditentukan.
3. Luas beton yang digunakan untuk tulangan diabaikan.
4. Asumsi tumpuan pada kolom adalah jepit bebas.
5. Mutu beton yang dipakai adalah f'_c ditentukan.
6. Mutu baja yang dipakai adalah f_y ditentukan.
7. Eksentrisitas pada kolom ditentukan.
8. Kolom dalam kondisi runtuh tarik (*Tension Failure*)
9. Lubang pada kolom ditentukan.
10. Pengaruh komposit antara kolom dengan elemen pembentuk lubang diabaikan.
11. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas lentur yang dihasilkan oleh kolom beton bertulang dengan lubang yang mengalami pembebanan tekan eksentris.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diambil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar perubahan kapasitas lentur yang dapat terjadi pada kolom beton bertulang dengan lubang yang mengalami beban tekan eksentris.



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 - komponen struktur lainnya.

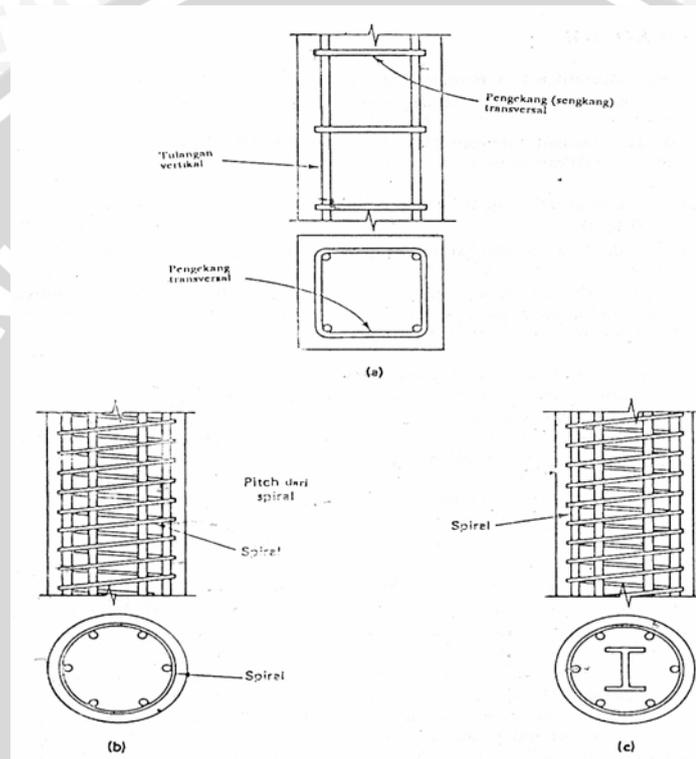
Selanjutnya, karena penggunaan di dalam praktek umumnya kolom tidak hanya bertugas menahan beban aksial vertikal, definisi kolom diperluas dengan mencakup juga tugas menahan kombinasi beban aksial tekan dan momen lentur. Atau dengan kata lain, kolom harus diperhitungkan untuk menyangga beban aksial tekan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

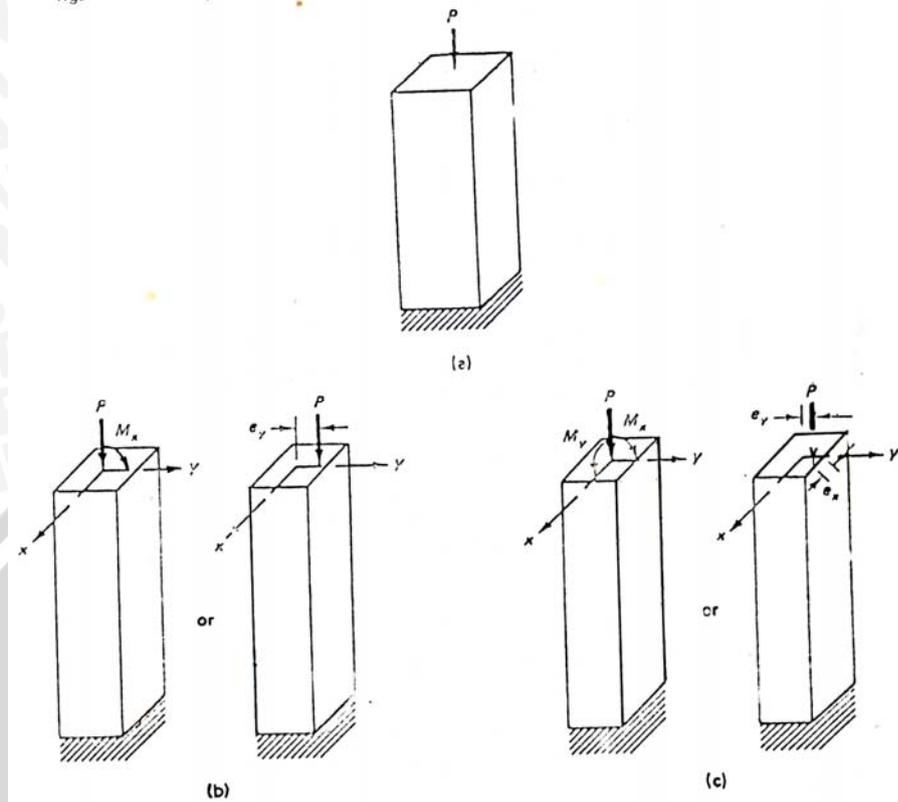
1. Kolom segiempat atau bujursangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang (Gambar 2.1(a)).
2. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral (Gambar 2.1(b)).
3. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural di dalamnya. Profil baja ini biasanya 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 Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Sentris

2.3.1 Kolom Pendek

Tingkat kelangsingan suatu struktur kolom diungkapkan sebagai rasio kelangsingan,

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

di mana,

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)

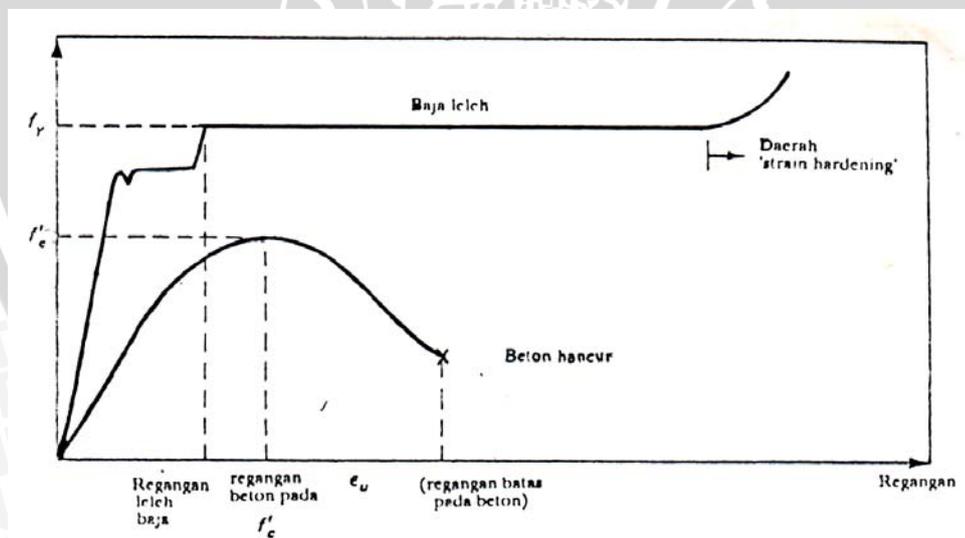
$$\frac{kl_u}{r} < 22$$

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 bergerak 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	$k = 1,0$

2.3.2 Kolom dengan Beban Sentris

Suatu kolom dengan luas penampang brutonya A_g dengan lebar b dan tinggi total h , bertulangan baja dengan luas total A_{st} (terbagi pada semua sisi kolom). Luas bersih penampang beton adalah $A_g - A_{st}$.



Gambar 2.3 Hubungan tegangan dan regangan pada beton dan baja (beban sentris). (sumber : Edward G. Nawy, 1990: 311)

Pada awalnya, baik beton maupun baja, berperilaku elastis. Pada saat regangannya mencapai sekitar 0,002 in./in. sampai 0,003 in./in., beton mencapai kekuatan maksimum f'_c . Secara teoritis beban maksimum yang dapat dipikul oleh

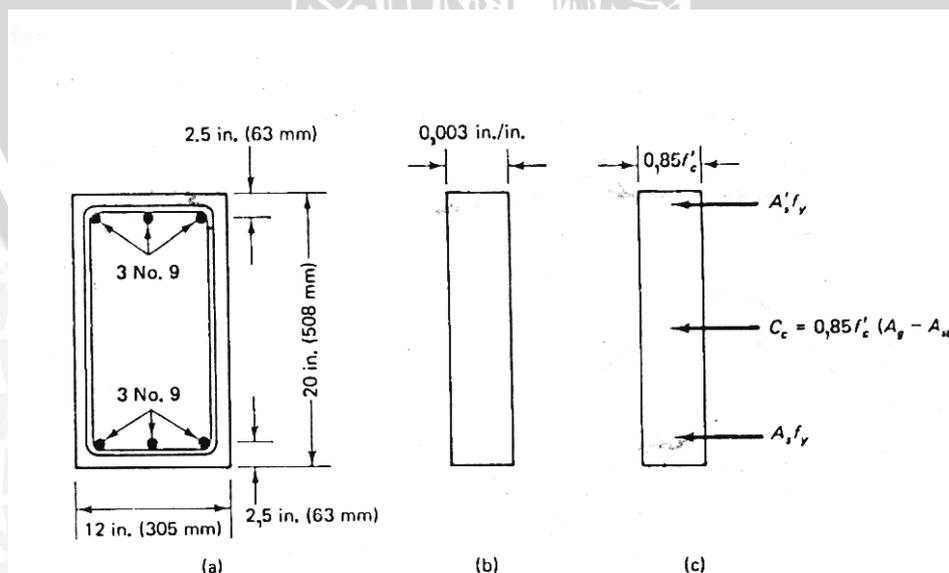
kolom adalah beban yang menyebabkan terjadinya tegangan f'_c pada beton. Penambahan beban lebih lanjut bisa saja terjadi apabila *strain hardening* pada baja terjadi di sekitar regangan 0,003 in./in. (Gambar 2.3)

Dengan demikian kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st}) 0,85 f'_c$ dan kontribusi baja, $A_{st}f_y$. A_g adalah luas bruto total penampang beton, dan A_{st} adalah luas total tulangan baja = $A_s + A'_s$. Yang digunakan dalam perhitungan disini adalah $0,85 f'_c$, bukan f'_c . Hal ini disebabkan bahwa kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur aktual mendekati harga $0,85 f'_c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentris maksimum adalah P_0 yang dapat dinyatakan sebagai :

$$P_0 = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st}f_y \quad (2-1)$$

Perlu ditekankan disini bahwa beban yang 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 (Gambar 2.4).

Mengadakan eksentrisitas sebesar nol merupakan hal yang sangat mustahil di dalam struktur aktual. Beberapa contoh yang dapat menyebabkan eksentrisitas sangat mudah terjadi adalah misalnya ketidak tepatan letak dan ukuran kolom, beban yang tidak simetris akibat adanya perbedaan tebal plat di sekitar kolom, atau adanya ketidaksempurnaan lainnya. (Edward G. Nawy, 1990)



Gambar 2.4 Geometri, regangan, dan tegangan kolom (beban sentris); (a) penampang melintang; (b) regangan beton; (c) tegangan (dan gaya-gaya). (sumber : Edward G. Nawy, 1990: 312)

Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisa dan desain, diisyaratkan bahwa adanya suatu reduksi beban aksial sebesar 20 % untuk kolom bersengkang. Dengan menggunakan faktor ini, kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada : (Edward G. Nawy, 1990)

$$P_{n(max)} = 0,8 \{f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st}f_y\} \quad (2-2)$$

untuk kolom bersengkang

Selanjutnya, sewaktu terjadi pecah lepas di bagian luar (selimut beton) di kolom tersebut, berarti batas kekuatannya telah terlampaui. Untuk itu diberikan faktor reduksi dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan ϕ . Besarnya faktor reduksi untuk kolom dengan pengikat sengkang adalah 0,65. (Istimawan Dipohusodo, 1999: 321)

Ketentuan tersebut di atas akan memberikan rumus kuat beban aksial maksimum seperti berikut : (SNI 03 – 2847 -2002, pasal 12.3 ayat 5)

$$\phi P_{n(max)} = 0,80 \phi \{ 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \} \quad (2-3)$$

untuk kolom dengan penulangan sengkang, dengan $\phi = 0,65$

2.4 Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Eksentris

2.4.1 Penampang Kolom Bertulangan Seimbang

Keadaan penampang bertulangan seimbang, adalah saat jumlah tulangan batang tarik sedemikian sehingga letak garis netral tepat pada posisi saat mana akan terjadi secara bersamaan regangan luluh tulangan baja tarik dan regangan beton desak maksimum 0,003. Kondisi ini merupakan pembatas antara dua keadaan penampang kolom beton bertulang yang berbeda cara hancurnya, yaitu hancur karena tarik dan hancur karena tekan.

Dengan menggunakan tulangan persegi seperti Gambar 2.5, keadaan keseimbangan regangan memberikan : (Istimawan Dipohusodo, 1999: 304)

$$\frac{Cb}{d} = \frac{0,003}{\frac{f_y}{E_s} + 0,003} \quad (2-4)$$

dengan $E_s = 2 \times 10^5$ Mpa, didapat

$$Cb = \frac{0,003 (d)}{\frac{f_y}{2 \times 10^5} + 0,003} = \frac{600(d)}{600 + f_y} \quad (2-5)$$

Kesetimbangan gaya – gaya mensyaratkan : (Edward G. Nawy, 1990: 314)

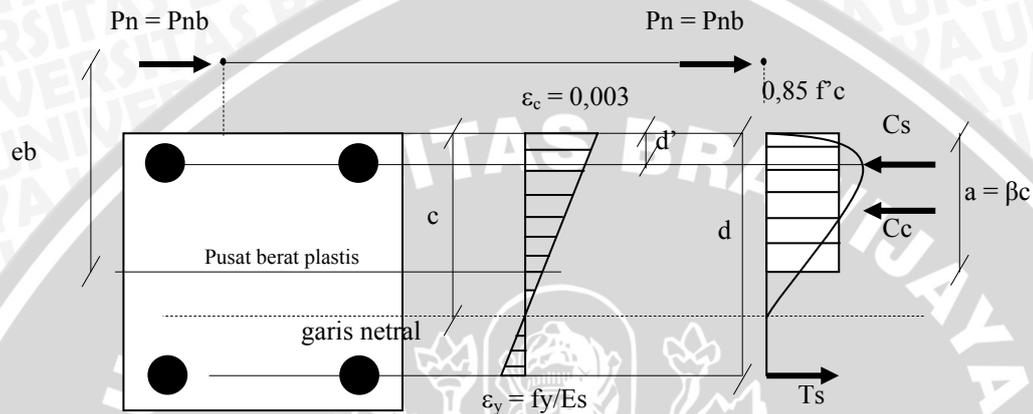
$$P_{nb} = C_c + C_s - T_s \quad (2-6)$$

Dengan : $C_c = 0,85 f'_c . b . a = 0,85 f'_c . b . \beta_1 c$ (2-7)

$$C_s = A_s' . f_s' = A_s' (f_y - 0,85 f'_c) \quad (2-8)$$

$$T_s = A_s . f_y \quad (2-9)$$

$$M_{nb} = P_{nb} . e_b = C_c (\bar{y} - a/2) + C_s (\bar{y} - d') - T_s (d - \bar{y}) \quad (2-10)$$



Gambar 2.5 Keadaan keseimbangan regangan – tegangan kolom persegi. (sumber : Istimawan D, 1999:303)

2.4.2 Keruntuhan Tekan (*Compression Failure*)

Keruntuhan tekan berlaku saat kekuatan tekan P_n melampaui kekuatan berimbang P_{nb} , atau dapat dikatakan bila eksentrisitas e lebih kecil daripada eksentrisitas e_b . Kekuatan nominal P_n untuk eksentrisitas yang diberikan $e < e_b$ dapat diperoleh dengan jalan menuju variasi tegangan sebenarnya sebagai besaran yang tidak diketahui dan dengan menggunakan prinsip – prinsip statika. (Binsar Hariandja, Charles G. Salmon, Chu Kia Wang, 1994)

Anggapan – anggapan pada keadaan beton batas runtuh adalah : (Istimawan Dipohusodo, 1999)

- Regangan beton maksimum 0,003
- Apabila $\epsilon_s' > \epsilon_y$, dengan demikian $f_s' = f_y$
- ϵ_s adalah tarik
- Apabila $\epsilon_s < \epsilon_y$, dengan demikian $f_s < f_y$

Selanjutnya dilakukan evaluasi besarnya gaya tekan dan tarik dimana bilangan yang belum diketahui adalah P_n dan c .

1. $C_c = 0,85 f'_c . b . a = 0,85 f'_c . b . \beta_1 c$

2. $C_s = A_s' \cdot f_s' = A_s' (f_y - 0,85f_c)$
3. $T_s = f_s A_s = \varepsilon_s E_s A_s = \frac{600(d-c)}{c} (A_s)$
4. Dengan kesetimbangan gaya $\sum \text{gaya} = 0$

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$
5. Dengan kesetimbangan momen pada T_s $\sum \text{momen} = 0$

$$P_n (d-e) = C_c (d-a/2) + C_s (d-d')$$
6. Dengan hasil tersebut dapat diketahui besarnya ϕP_n , kemudian memeriksa anggapan awal dan jika anggapan awal terpenuhi maka menentukan momen pada eksentrisitas e adalah

$$M_n = \phi P_n e$$

2.4.3 Keruntuhan Tarik (*Tension Failure*)

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:

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

$$P_n = 0,85 f_c \cdot b \cdot a + A_s' \cdot f_s' - A_s f_s$$

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

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

Apabila penulangan tekan dan tarik simetris $A_s = A_s'$ dan tulangan tekannya belum leleh sedangkan tulangan tarik sudah leleh, didapatkan

$$P_n = 0,85 f_c \cdot b \cdot a + A_s' \cdot f_s' - A_s f_s \quad (2-14)$$

dan

$$P_n e = 0,85 f_c \cdot b \cdot a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + A_s' f_s' \left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s f_y (d - \frac{h}{2}) \quad (2-15)$$

Tegangan f_s pada baja dapat mencapai f_y apabila keruntuhan yang terjadi berupa hancurnya beton. Apabila keruntuhan berupa lelehnya tulangan baja, besarnya f_s harus didistribusikan dengan f_y . Apabila f_s atau f_s lebih kecil daripada f_y , maka yang disubstitusikan tegangan aktualnya.

$$f_s = E_s \varepsilon_s' = E_s \frac{0,003(c-d')}{c} \leq f_y \quad (2-16)$$

$$f_s = E_s \varepsilon_s = E_s \frac{0,003(d-c)}{c} \leq f_y \quad (2-17)$$

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

$$P_n = 0,85 f_c' a \cdot b \quad (2-18)$$

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

atau

$$M_n = P_n e = 0,85 f_c' \cdot b \cdot a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y (d - d') \quad (2-20)$$

2.5 Penggunaan 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

$$P = 0,85 f_c' b d + A_{st} f_y$$

- 2). Keruntuhan tekan (*compression failure*)

Terjadi bilamana $P > P_b$ atau $a > a_b$, tulangan tekan sudah leleh sehingga

$$f_s' = f_y$$

$$f_s = 0,003 \left(\frac{d-c}{c} \right) E_{st}$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_s$$

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

3). Keruntuhan seimbang (*balance reinforced*)

$$a_b = \frac{0,003 E_{st}}{0,003 E_{st} + f_y} \beta_1 d$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_y$$

$$M = 0,85 f_c' a b (h/2 - a/2) + A_s' f_y (h/2 - d') + A_s f_y (d - h/2)$$

4). Keruntuhan tarik (*tension failure*)

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

$$f_s' = 0,003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) E_{st}$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_s' - A_s f_y$$

$$M = 0,85 f_c' a b (h/2 - a/2) + A_s' f_s' (h/2 - d') + A_s f_y (d - h/2)$$

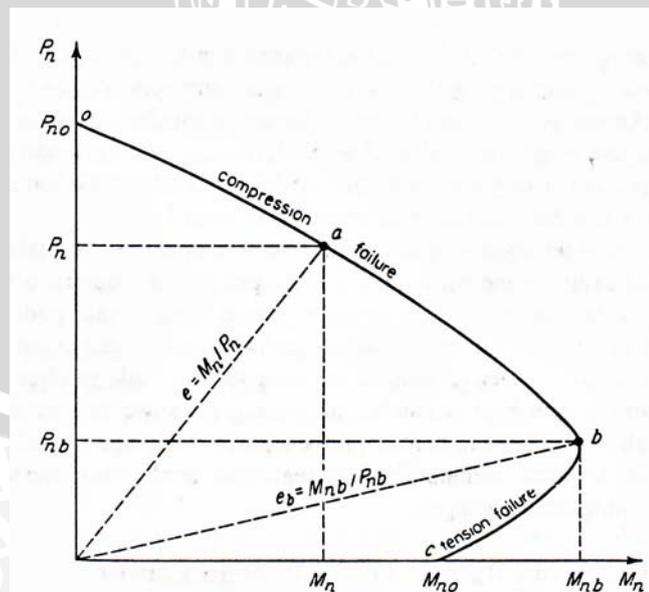
5). Lentur murni

Pada kondisi ini kemungkinan f_s' belum meleleh sehingga

$$f_s' = 0,003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) E_{st}$$

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

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



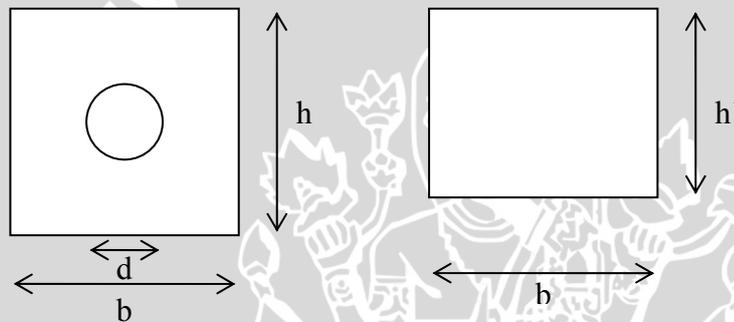
Gambar 2.6 Diagram interaksi untuk tekan dengan lentur, P_n terhadap M_n

Untuk keperluan dalam penelitian ini, ditentukan bahwa kolom mengalami keruntuhan tarik (*tension failure*) 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 2.7 Penampang Kolom berlubang

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

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

$$h' = h - \frac{\pi d^2}{4b} \quad (2-16)$$

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

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

$$a' = a \frac{h'}{h} = a \left(1 - \frac{\pi d^2}{4bh} \right) \quad (2-17)$$

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 ($0 \leq a < 52,5$)

$$a' = a \quad (2-18)$$

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

$$a' = a \left(1 - \frac{\pi(a-52,5)^2}{4bh} \right) \quad (2-19)$$

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

$$a' = a \left(1 - \frac{\pi d^2}{4bh} \right) \quad (2-20)$$

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

$$P_n = 0,85 f_c' a' b + A_s' f_s' - A_s f_y \quad (2-26)$$

$$M = 0,85 f_c' a' b \left(\frac{h}{2} - \frac{a'}{2} \right) + A_s' f_s' \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_y \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (2-27)$$

2.7 Hipotesis Penelitian

Diduga dengan adanya lubang pada kolom akan mempengaruhi besarnya kapasitas lentur yang dimiliki kolom. Dengan pengurangan luas penampang kolom akibat adanya lubang diduga kapasitas lentur kolom akan lebih kecil daripada kolom tidak berlubang.

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.

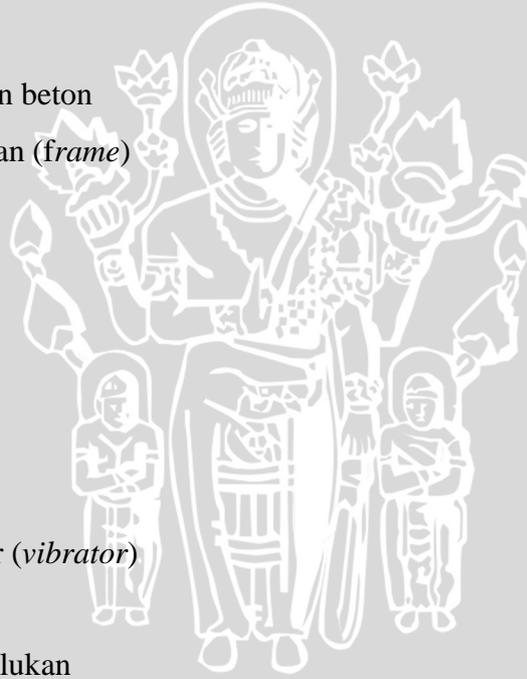
a. Persiapan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

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

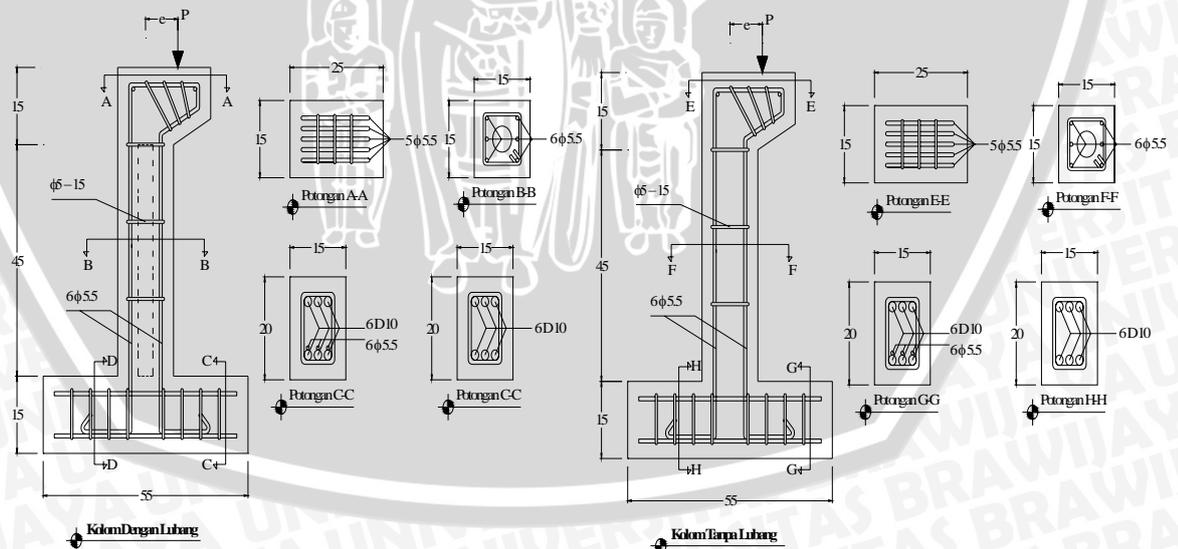
Tahapan-tahapan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Persiapan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji
2. Pembuatan cetakan beton (bekisting) dan pembuatan cetakan lubang ukuran 4×4 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 ke dalam 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

2. Benda uji 1 dengan eksentrisitas $e = 8$ cm dibebani sampai dengan beban runtuh

3. Benda uji 2 dengan eksentrisitas $e = 10$ cm dibebani sampai dengan beban runtuh
4. Benda uji 3 dengan eksentrisitas $e = 12$ cm dibebani sampai dengan beban runtuh
5. Dilakukan pembebanan pada setiap benda uji dan catat regangan tulangan utama tarik yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

3.7 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini antara lain:

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang berubahannya 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 regangan tulangan tarik yang terjadi pada kolom beton bertulang.

3.8 Metode Pengumpulan Data

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

3.9 Analisis Data

3.9.1 *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 kapasitas lentur 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 kapasitas lentur, tanpa memasukkan variasi ukuran lubang.

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

1. Tentukan hipotesis

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

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

2. Tentukan *level of significance* (α)

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

3. Buat tabel anova untuk kolom berlubang atau kolom tidak berlubang.

Tabel 3.2 Tabel anova untuk kolom berlubang / tidak berlubang

	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	$\Sigma n_{3'}$	ΣN
	ΣX_{1n}	$\Sigma X_{1n'}$	ΣX_{2n}	$\Sigma X_{2n'}$	ΣX_{3n}	$\Sigma X_{3n'}$	ΣX
	\bar{X}_1	$\bar{X}_{1'}$	\bar{X}_2	$\bar{X}_{2'}$	\bar{X}_3	$\bar{X}_{3'}$	
	s^2_1	$s^2_{1'}$	s^2_2	$s^2_{2'}$	s^2_3	$s^2_{3'}$	

4. Hitung jumlah kuadrat rata-rata.

$$JK_R = \frac{(\Sigma X_1 + \Sigma X_{1'} + \Sigma X_2 + \Sigma X_{2'} + \Sigma X_3 + \Sigma X_{3'})^2}{\Sigma n_1 + \Sigma n_{1'} + \Sigma n_2 + \Sigma n_{2'} + \Sigma n_3 + \Sigma n_{3'}}$$

5. Hitung jumlah kuadrat antarkelompok.

$$JK_A = \frac{(\Sigma X_1)^2}{n_1} + \frac{(\Sigma X_{1'})^2}{n_{1'}} + \frac{(\Sigma X_2)^2}{n_2} + \frac{(\Sigma X_{2'})^2}{n_{2'}} + \frac{(\Sigma X_3)^2}{n_3} + \frac{(\Sigma X_{3'})^2}{n_{3'}} - JK_R$$

6. Hitung jumlah kuadrat dalam kelompok.

$$JK_D = \Sigma X^2 - JK_R - JK_A$$

7. Hitung derajat kebebasan rata-rata.

$$dk_{rata-rata} = 1$$

8. Hitung derajat kebebasan antar kelompok.

$$dk_A = k - 1$$

9. Hitung derajat kebebasan dalam kelompok.

$$dk_D = N - k$$

10. Hitung rata-rata jumlah kuadrat.

$$RK_{rata-rata} = \frac{JK_R}{dk_R}$$

11. Hitung rata-rata jumlah kuadrat antar kelompok.

$$RK_A = \frac{JK_A}{dk_A}$$

12. Hitung rata-rata jumlah kuadrat dalam kelompok.

$$RK_D = \frac{JK_D}{dk_D}$$

13. Cari F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{RK_A}{RK_D}$$

14. Cari F_{tabel}

$$F_{tabel} = F_{(1-\alpha)(dk_A, dk_D)}$$

15. Bandingkan nilai F_{tabel} dan F_{hitung} , jika nilai $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka H_0 diterima, demikian pula sebaliknya.

3.9.2 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:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (3-1)$$

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 dengan rumus:

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

5. Hitung b dengan rumus:

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

6. Masukkan nilai a dan b dalam persamaan (3-1)

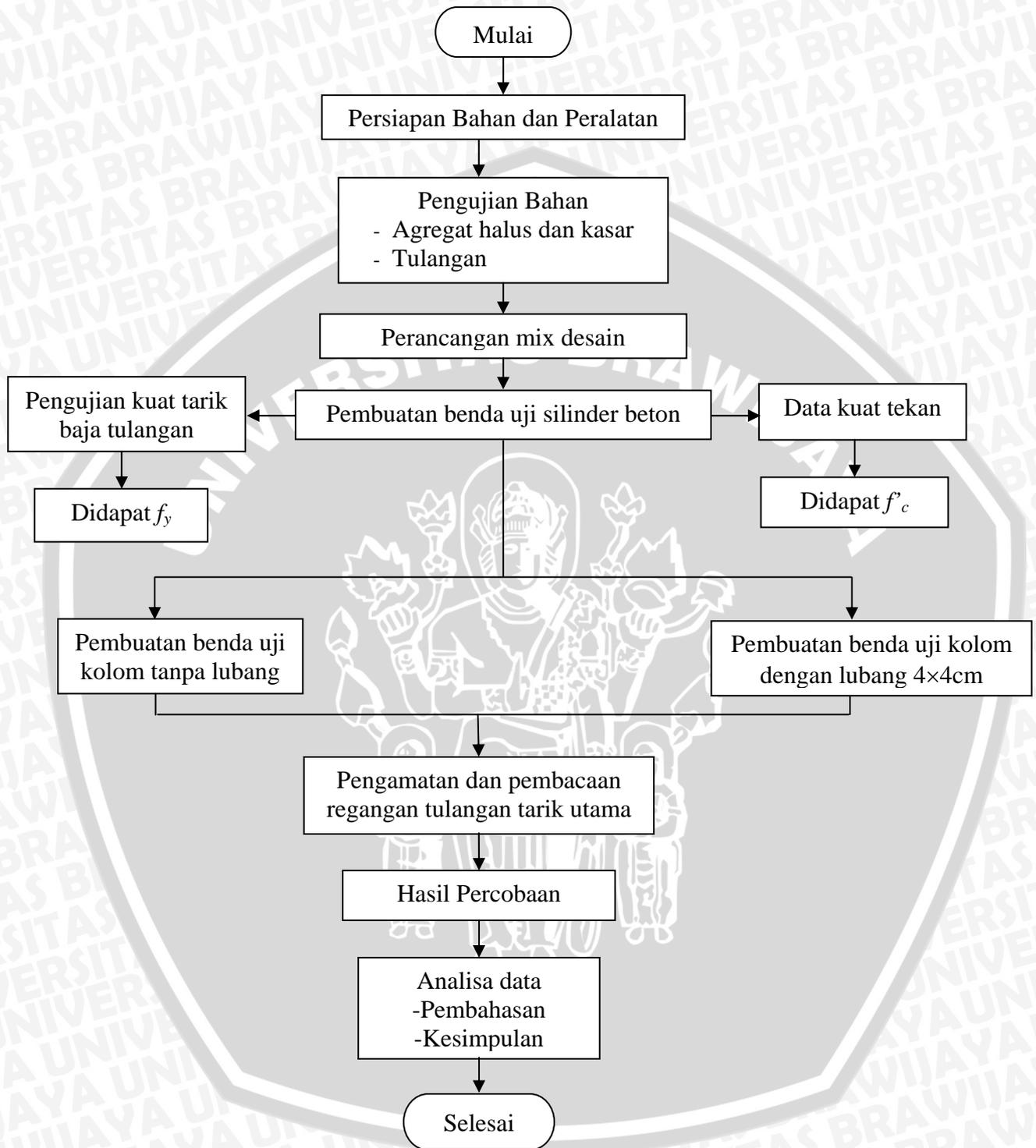
7. Ujilah signifikansi dan linearitas persamaan regresi tersebut dengan menggunakan tabel penolong yang disebut tabel *Analysis of Varians* (anova) dengan bentuk tabel 3.4 sebagai berikut:

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	$JK_{(reg a)} = \frac{(\sum Y_i)^2}{n}$	$RJK_{(reg a)} = JK_{(reg a)}$	$F_{(sign)} = \frac{RJK_{(reg a)}}{RJK_{(reg bla)}}$
Regresi (bIa)	1	$JK_{reg(bla)} = b \sum X_i Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n}$	$RJK_{(reg bla)} = JK_{(reg bla)}$	$RJK_{(res)}$
Residu	n-2	$JK_{res} = \sum Y_i^2 - JK_{reg(bla)} - JK_{reg(a)}$	$RJK_{(E)} = \frac{JK_{res}}{n-2}$	
Tuna Cokok (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	$JK_{(E)} = \sum_x \sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n}$	$RJK_{(E)} = \frac{JK_{(E)}}{n-k}$	

8. Isilah rumus-rumus yang terdapat dalam tabel 3.4 berdasarkan hasil perhitungan.
9. Tentukan taraf signifikasinya (α).
10. Cari F_{sign} tabel dengan rumus $F_{sign\ tabel} = F_{(1-\alpha)(dkreg)(bla),dkres}$ dan dengan melihat tabel F didapat nilai F_{sign} tabel.
11. 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.
12. Kriteria pengujian sebagai berikut :
 - Jika $F_{sign\ hitung} \leq F_{sign\ tabel}$, maka H_0 diterima.
 - Jika $F_{line\ hitung} \leq F_{line\ tabel}$, maka H_a diterima.
13. Buat kesimpulannya.

3.10 Langkah-langkah Penelitian



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	305,577	373,484
	2	407,437	
	3	407,437	
8	1	361,630	371,675
	2	376,698	
	3	376,698	

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	8
4	0,38	8
5	0,38	8
6	0,38	8,2
7	0,38	9
8	0,38	10

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.

Tabel 4.5 Kuat Tekan Beton

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	12.4	0.00234	71889.978	406.814	0.250
2	12.25	0.00231	64140.136	362.959	1879.659
3	12.75	0.00241	70564.347	399.313	49.020
4	12.7	0.00240	71686.035	405.660	0.428
5	12.5	0.00236	69238.716	391.811	210.336
6	12.8	0.00241	82800.939	468.557	3874.255
7	12.65	0.00239	74949.126	424.125	317.244
8	12.35	0.00233	75662.927	428.165	477.450
9	12.4	0.00234	60673.102	343.340	3965.779
10	14.8	0.00279	87185.718	493.370	7578.797
11	14.85	0.00280	51291.715	290.252	13470.440
12	14.65	0.00276	84432.485	477.790	5108.843
13	14.65	0.00276	77600.388	439.128	1076.786
14	14.65	0.00276	77906.302	440.859	1193.394
15	14.9	0.00281	57002.124	322.566	7013.713
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 4,445 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

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh beban tekan eksentris terhadap kapasitas lentur pada kolom beton bertulang berlubang dan tanpa lubang maka dilakukan pengujian hipotesis secara statistik. Pengujian hipotesis ini menggunakan analisis ragam dengan klasifikasi satu arah.

Hipotesis yang diambil sebagai berikut :

H_0 : hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara nilai kapasitas lentur pada $e = 8$ cm, $e = 10$ cm, dan $e = 12$ cm

H_a : hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara nilai kapasitas lentur pada $e = 8$ cm, $e = 10$ cm, dan $e = 12$ cm

Pengujian hipotesis juga digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh lubang sebesar 7% pada kolom beton bertulang dengan beban tekan eksentris terhadap kapasitas lentur, berdasarkan data pengamatan pada masing-masing kolom yang diperoleh pada saat pengujian.

Hipotesis yang diambil sebagai berikut :

H_0 : hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kapasitas lentur kolom tanpa lubang dan berlubang.

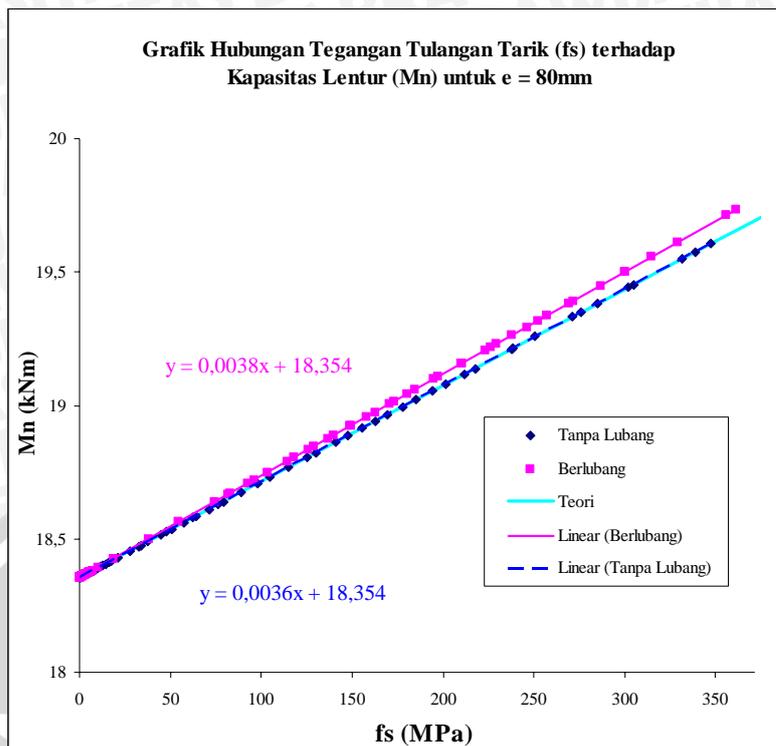
H_a : hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kapasitas lentur kolom tanpa lubang dan berlubang.

4.7 Pembahasan

4.7.1 Pembahasan Pengaruh Lubang terhadap Kapasitas Lentur Kolom

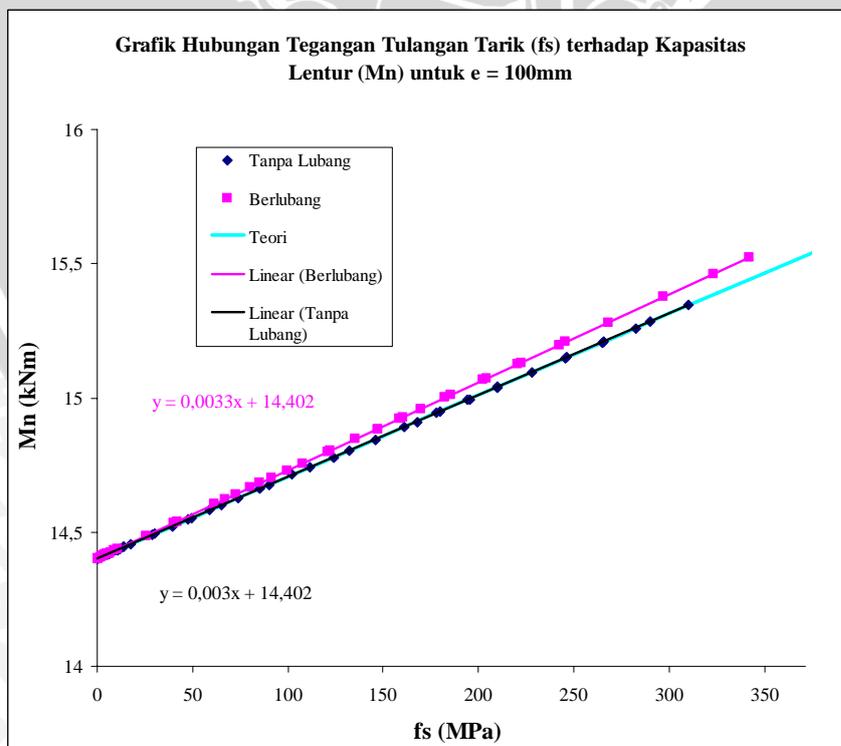
Pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan pada benda uji sampai benda uji sampai tulangan tarik mengalami leleh atau sampai kolom tersebut mengalami keruntuhan. Pembebanan diberikan sejarak tertentu terhadap pusat kolom yaitu dengan eksentrisitas 80 mm, 100mm, 120mm, dan pengamatan yang dilakukan terhadap regangan tulangan tarik. Dengan menggunakan persamaan kapasitas lentur kolom baik berlubang maupun tanpa lubang maka dapat diperoleh besarnya nilai kapasitas lentur kolom untuk setiap perubahan nilai tegangan tulangan tariknya.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dilaboratorium diperoleh data regangan tulangan tarik dari kolom. Data ini diolah sesuai (lampiran) dan diperoleh grafik hubungan antara tegangan baja tarik dengan kapasitas lentur sebagai berikut :



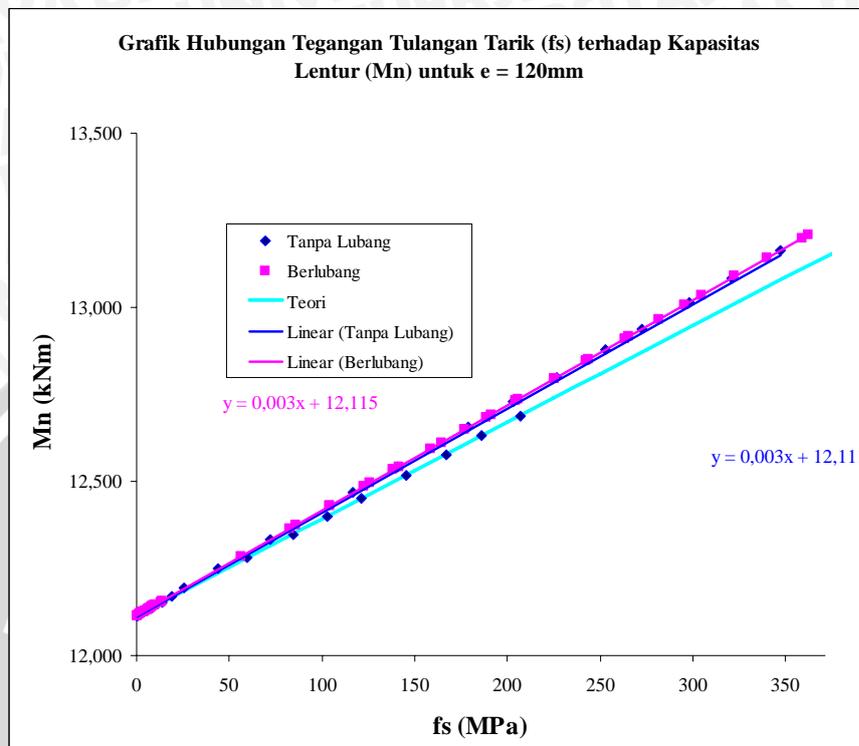
Gambar 4.1 Hubungan $f_s - M_n$ untuk eksentrisitas 80mm

Berdasarkan gambar 4.1 jika nilai regangan tulangan tarik mencapai leleh (371,5 Mpa) maka kolom tanpa lubang memiliki nilai kapasitas lentur sebesar 19,69 kNm; sedangkan 19,77 kNm merupakan nilai kapasitas lentur untuk kolom berlubang.



Gambar 4.2 Hubungan $f_s - M_n$ untuk eksentrisitas 100mm

Dari gambar 4.2 dapat diperoleh nilai kapasitas lentur kolom tanpa lubang sebesar 15,52 kNm; dan untuk kolom berlubang nilai kapasitas kolom sebesar 15,63 kNm, pada tegangan tulangan tarik yang sama yaitu mencapai kondisi leleh.



Gambar 4.3 Hubungan $f_s - M_n$ untuk eksentrisitas 120mm

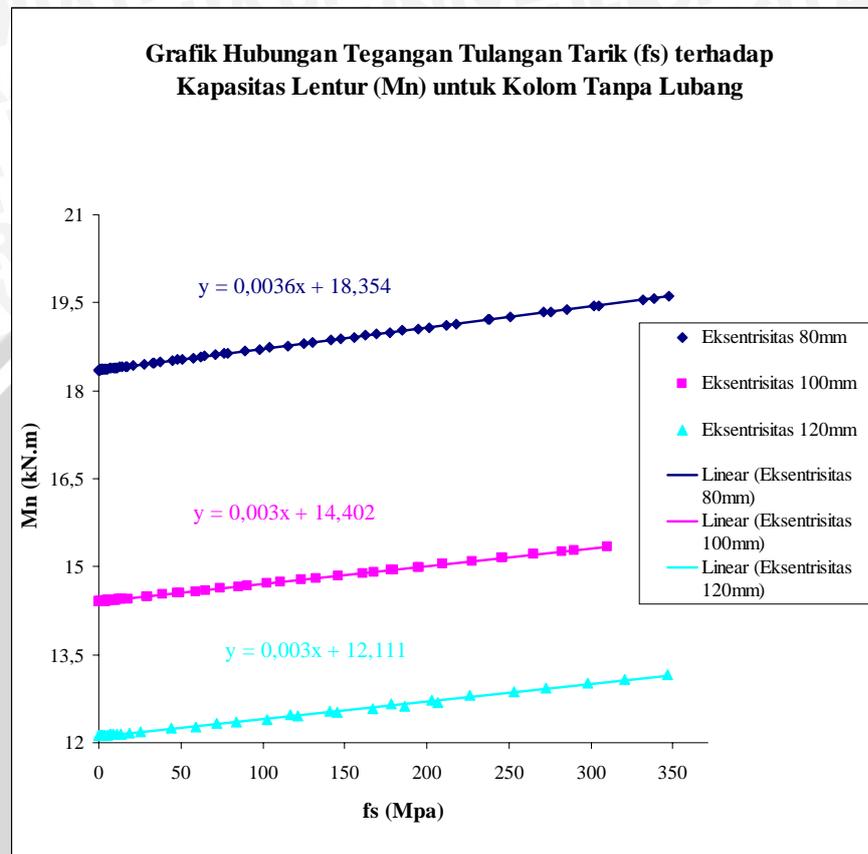
Dari gambar 4.3 dapat diketahui nilai kapasitas lentur sebesar 13,23 kNm pada saat tulangan tarik mencapai tegangan leleh sebesar 371,5 MPa terjadi pada kolom berlubang dan tanpa lubang.

Pada saat eksentrisitas sebesar 80 mm nilai kapasitas lentur kolom berlubang dan tanpa lubang memiliki perbedaan sebesar 0,41 %, dan pada eksentrisitas kolom sebesar 100 mm perbedaannya sebesar 0,71 %, dan sedangkan pada eksentrisitas sebesar 120 mm tidak terdapat perbedaan nilai kapasitas lentur pada keduanya, dari hal tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perubahan yang signifikan antara kapasitas lentur kolom tanpa lubang dan berlubang.

Jika dilihat secara teoritis kapasitas lentur kolom untuk berlubang dan tanpa lubang pada eksentrisitas 80 mm, 100 mm, dan 120 mm tidak mengalami perubahan. Hal ini dikarenakan pada keruntuhan tarik, daerah tekan beton berada diatas lubang sehingga tidak terjadi perubahan kapasitas lentur antara kedua jenis kolom tersebut.

4.7.2 Pembahasan Pengaruh Eksentrisitas terhadap Kapasitas Lentur Kolom Tanpa Lubang dan Berlubang

Eksentrisitas merupakan variabel yang memberikan perubahan yang signifikan terhadap nilai kapasitas lentur kolom. Hal ini dapat ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 4.4 Hubungan $f_s - M_n$ untuk kolom tanpa lubang

Dari gambar 4.4 diperoleh nilai kapasitas lentur kolom pada saat tegangan baja mencapai tegangan leleh, untuk eksentrisitas 80 mm sebesar 19,69 kNm; untuk eksentrisitas 100 mm sebesar 15,52 kNm; sedangkan untuk eksentrisitas 120 mm mempunyai nilai kapasitas lentur kolom sebesar 13,23 kNm.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan uji statistik analisis varian satu arah, terdapat perubahan yang signifikan terhadap kapasitas lentur kolom dengan adanya penambahan eksentrisitas yaitu 80 mm, 100 mm, 120 mm. Semakin besar eksentrisitas yang diberikan maka kapasitas lentur kolom akan semakin kecil.
2. Pemberian lubang sebesar 7% dari luas penampang tidak memberikan perubahan yang mencolok terhadap kapasitas lentur kolom, hal ini dikarenakan dengan eksentrisitas sebesar 80mm, 100mm, dan 120mm memiliki garis netral kolom berada diatas lubang, sehingga tidak terjadi perubahan kapasitas lentur kolom.

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. Penempatan strain gauge harus tepat berada pada daerah yang diperkirakan akan putus atau mengalami momen terbesar, sehingga pengamatan yang dilakukan lebih teliti.
4. Sebaiknya digunakan dua buah *strain gauge* yang diletakkan pada tulangan tarik dan tulangan tekan agar dapat dengan jelas mengetahui letak garis netral seiring dengan penambahan beban yang diberikan.
5. Agar tidak terdapat perbedaan perilaku antara kolom tidak berlubang dan kolom berlubang sebaiknya paralon sebagai elemen pembuat lubang dilepaskan dari struktur kolom.