

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

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Diajukan oleh :

**REZA BASTIAN**

**0210610063**

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

**2007**

PENGARUH BEBAN TEKAN EKSENTRIS PADA KOLOM  
BETON BERTULANG BERLUBANG TERHADAP KAPASITAS GESER

REZA BASTIAN  
NIM 0210610063



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

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**REZA BASTIAN**  
**0210610063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Prof. DR. Ir. Agoes Soehardjono MD, MS**  
NIP 131 276 254

**Ir. Wisnumurti, MT**  
NIP 131 879 046

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



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

Disusun oleh :

**REZA BASTIAN**

**NIM 0210610063**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

**Tanggal 9 Agustus 2007**

**DOSEN PENGUJI**

**Prof. DR. Ir. Agoes Soehardjono MD, MS**

NIP 131 276 254

**Ir. Wisnumurti, MT**

NIP 131 879 046

**Ir. Prastumi, MT**

NIP 130 518 940

Ketua Jurusan Sipil

**Ir. As'ad Munawir, MT**

NIP 131 574 850

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah swt, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Beban Tekan Eksentris Pada Kolom Beton Bertulang Berlubang Terhadap Kapasitas Geser” dengan sedemikian rupa baik.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik dan merupakan salah satu persyaratan yang harus ditempuh dalam menyelesaikan pendidikan di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari tanpa bantuan dari berbagai pihak maka penulis akan mengalami kesulitan dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Ir. As'ad Munawir, MT dan Hendi Bowoputro, ST MT selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Prof. DR. Ir. Agoes Soehardjono MD, MS dan Ir. Wisnumurti, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan saran dalam penyelesaian penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Sugeng dan Bapak Yunus atas bantuannya selama penelitian berlangsung di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Seluruh Bapak dan Ibu pengajar yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman yang bermanfaat selama perkuliahan.
5. Seluruh staf akademik dan karyawan Teknik Sipil Universitas Brawijaya atas bantuannya kepada penulis.
6. Ayahanda, ibunda, adinda, dan saudara-saudara tercinta yang telah banyak memberikan dukungan hingga terselesaikannya penyusunan skripisi ini.
7. Seluruh rekan sejawat dan seperjuangan Jurusan Sipil dan pihak-pihak lain yang turut serta memberikan bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan, karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dan semoga Allah swt senantiasa membimbing kita ke jalan yang penuh dengan kebaikan dan kebenaran.

Malang, September 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL</b> .....	viii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	2
1.3. Perumusan Masalah.....	2
1.4. Pembatasan Masalah .....	2
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Kolom.....	4
2.2. Jenis Kolom .....	4
2.3. Persyaratan Peraturan ACI untuk kolom.....	5
2.4. Tipe Keruntuhan.....	6
2.5. Diagram Interaksi.....	7
2.6. Kapasitas Kolom Berlubang.....	8
2.7. Gaya Geser .....	10
2.7.1. Mekanisme Transfer Geser .....	10
2.7.2. Terjadinya Tarik Diagonal .....	10
2.7.3. Pengaruh Gaya Aksial Tekan.....	11
2.8. Prosedur Perencanaan Geser Secara Umum .....	13
2.9. Beban Aksial dan Beban Lateral Berdasar Analogi Lendutan.....	15
2.10. Regangan Geser .....	17
2.11. Hipotesis Penelitian.....	18





### III. METODELOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan waktu penelitian .....	19
3.2. Peralatan dan Bahan .....	19
3.3. Analisa bahan yang digunakan.....	20
3.4. Rancangan penelitian .....	20
3.5. Prosedur Pembuatan Benda Uji.....	21
3.6. Prosedur Penelitian.....	21
3.7. Variabel Penelitian .....	24
3.8. Analisis Data .....	24
3.8.1. <i>Analysis of Variance</i> (anova) .....	24
3.8.2. Analisis Regresi Linear Tunggal.....	27

### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Sifat-sifat Bahan Penyusun Kolom Beton Bertulang .....	29
4.1.1. Semen .....	29
4.1.2. Air.....	29
4.1.3. Agregat Halus .....	29
4.1.4. Agregat Kasar.....	30
4.1.5. Baja Tulangan .....	30
4.2. Pengujian Beton Segar .....	30
4.3. Pengujian Kuat Tekan Beton .....	31
4.4. Campuran Beton.....	32
4.5. Pengujian Kolom.....	32
4.6. Pengujian Hipotesis tentang pengaruh eksentrisitas pada nilai tegangan baja sengkang pada kolom berlubang .....	33
4.7. Pembahasan.....	33
4.7.1. Nilai <i>strain gauge</i> dan tegangan baja sengkang .....	33
4.7.2. Kapasitas geser nominal.....	34
4.7.3. Gaya geser pada kolom melalui analogi lendutan.....	35
4.7.3. Kapasitas geser pada kolom berlubang beton bertulang .....	37
4.7.4. Kapasitas geser pada kolom masif beton bertulang .....	39
4.7.5. Nilai eksentrisitas yang signifikan terhadap tegangan baja sengkang .....	41

**V. PENUTUP**

5.1. Kesimpulan..... 42

5.2. Saran..... 43

**DAFTAR ACUAN**

**LAMPIRAN**



## ABSTRAKSI

**Reza Bastian.** Agustus 2007. **Pengaruh Beban Tekan Eksentris Pada Kolom Beton Bertulang Berlubang Terhadap Kapasitas Geser.** Skripsi. Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dosen Pembimbing : Prof. DR. Ir. Agoes Soehardjono, MS dan Ir. Wisnumurti MT.

Penggunaan kolom dengan penampang berlubang sudah tidak dapat dihindari penggunaannya, guna keperluan pemasangan pipa-pipa yang tertanam bersama kolom beton bertulang, semisal untuk penempatan kabel dan instalasi air. Peraturan ACI 318M-95 dan oleh Indonesia disadur kembali pada SNI-2847-2002 membatasi besarnya lubang maksimum 4%, apabila persentase lubang lebih besar dari 4%, maka besarnya lubang harus diperhitungkan terhadap pengaruh kekuatannya. Peraturan tersebut tidak menyinggung pengaruh lubang terhadap kapasitas geser kolom berlubang.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji kolom berlubang dan masif masing-masing enam buah dengan ketentuan: penampang kolom 150 mm x 150 mm, panjang kolom 450 mm, kolom pendek dengan konsol bertumpuan jepit-bebas, dimensi tulangan utama  $6\phi_{5,5}$ , dimensi tulangan sengkang  $150-\phi_5$ , rasio tulangan = 0,01893, kuat tekan beton = 29,7 Mpa, tegangan leleh baja = 371,5 MPa, diameter lubang = 45 mm (persentase lubang = 7,07%), variasi letak eksentrisitas 80 mm, 100 mm, 120 mm.

Nilai eksentrisitas yang diberikan sejarak sedemikian rupa berada diluar inti galih sehingga terjadi beban aksial tekan dan aksial tarik dan tentunya timbul momen pada kolom tersebut. Secara analisis mekanika teknik untuk kondisi kolom jepit-bebas tidak memberikan nilai gaya lintang atau gaya lateral atau gaya geser. Namun demikian, gaya lintang yang timbul relatif kecil akibat efek sekunder sehingga timbul persamaan momen dengan bergradien kecil. Hal ini dapat diamati dari pembacaan pengamatan pada *strainmeter* kolom berlubang sebagai regangan sengkang pada masing-masing eksentrisitas, nilai tegangan sengkang maksimal saat beban mencapai keruntuhannya memberikan eksentrisitas 80 mm = 19,772 MPa, eksentrisitas 100 mm = 5,643 MPa, eksentrisitas 120 mm = 10,967 MPa, tetapi besarnya pada kolom masif tidak dapat diamati karena tidak dipasang *strainingauge*.

Hasil dari penelitian baik untuk kolom masif ataupun kolom berlubang nilai gaya lintang yang terjadi masih di bawah kapasitas geser nominal kolom tersebut atau dengan kata lain kolom mampu memikul besarnya gaya lintang dengan eksentrisitas 80 mm, 100 mm, 120 mm saat persentase lubang yang digunakan 7,07 % dan tentunya hal ini berkesesuaian dengan hipotesa awal untuk analisis pada kolom tersebut.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Beton merupakan campuran yang terdiri dari pasir, kerikil dan atau batu pecah atau agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa yang mirip batuan. Tak jarang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pekerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan.

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat rendah. Beton bertulang merupakan suatu kombinasi antara beton dan baja, dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton, tulangan baja dapat pula menahan gaya tekan sehingga digunakan pada kolom dan pada berbagai kondisi yang lain.

Dalam kurun waktu terakhir ini, perkembangan jasa konstruksi seringkali menggunakan kolom beton bertulang berlubang. Maksud dari lubang tersebut digunakan untuk media penempatan instalasi air (pipa), instalasi listrik (kabel), dan sebagainya. Hal tersebut bertujuan untuk menambah nilai estetika, keamanan, dan menjaga kesehatan.

Penggunaan kolom berlubang sendiri dalam hal kebutuhan konstruksi telah diatur dan ditentukan lebih lanjut dalam SNI-2847-2002, yang berbunyi : “Saluran dan pipa, bersama kaitnya, yang ditanam pada kolom tidak boleh menempati lebih dari 4 % luas penampang yang diperlukan untuk kekuatan”. Sehingga dari ketentuan tersebut di atas perencanaan lubang pada kolom tidak boleh melebihi dari 4% luas penampang kolom yang diperlukan untuk kekuatan dari kolom. Namun berbeda bila prosentase lubang pada kolom melebihi dari 4% yang akan menyebabkan penurunan kekuatan dari kolom .

Suatu komponen struktur harus memiliki kemampuan kekuatan yang cukup saat terjadi beban kerja dan jangka waktu tertentu, kekuatan yang dimaksud agar bangunan dapat menahan beban puncak selama usia bangunan. Salah satu dari kekuatan elemen struktur adalah kapasitas penampang kritis untuk mampu dalam menahan gaya geser. Satu hal yang tidak dapat ditinggalkan yang terkait dengan kekuatan struktur adalah daktilitas terutama struktur yang direncanakan mampu menahan beban gempa yang kuat.

Dengan adanya lubang pada penampang kolom beton bertulang dapat mengurangi kekuatan kapasitas geser sehingga diperlukan analisa lebih lanjut mengenai kapasitas geser yang sesungguhnya terjadi pada penampang tersebut dan tentunya tetap memperhatikan struktur yang daktail.

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Penerapan untuk penggunaan kolom berlubang beton bertulang tidak dapat dihindari lagi untuk penggunaan dengan kepentingan tertentu seperti untuk penanaman instalasi air maupun instalasi listrik. Walaupun untuk analisa gaya geser pada kolom beton bertulang memberikan pengaruh yang sedikit, namun dengan adanya lubang pada kolom tentunya dapat menurunkan kapasitas gaya geser pada kolom berlubang beton bertulang.

Batang daktail dapat memberikan peringatan dari keruntuhan mendadak maka untuk mencapai tujuan ini ACI memberikan nilai geser rencana yang mempunyai faktor keamanan yang lebih besar terhadap keruntuhan geser dibandingkan dengan yang diberikan dengan keruntuhan lentur. Keruntuhan balok beton bertulang dalam geser adalah sangat berbeda dengan keruntuhan dalam lentur.

Keruntuhan geser terjadi secara tiba-tiba dengan peringatan kecil atau tanpa peringatan sebelumnya. Oleh karenanya, batang direncanakan runtuh dalam lentur akibat beban yang lebih kecil dari beban yang menyebabkan keruntuhan geser. Akibatnya, batang akan runtuh secara daktail. Karena kekuatan tarik beton lebih kecil dari kekuatan geser, beton akan runtuh dalam tarik sebelum kekuatan gesernya tercapai.

### **1.3 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti, yakni bagaimana kapasitas geser yang terjadi pada kolom berlubang beton bertulang dengan beban tekan eksentris hingga kolom berlubang mencapai keruntuhan tarik (*tension failure*).

### **1.4 Pembatasan 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. Tumpuan pada kolom adalah jepit - bebas

4. Mutu beton yang dipakai adalah  $f'_c = 30$  Mpa
5. Mutu baja yang dipakai adalah  $f_y = 320$  Mpa
6. Eksentrisitas pada kolom ditentukan yaitu di luar inti galih.
7. Kolom dalam kondisi keruntuhan tarik (*tension failure*).
8. Lubang berbentuk lingkaran dibentuk dengan pipa PVC yang berdiameter tipis, dan tertanam pada benda uji dengan pertimbangan pendekatan pada pelaksanaan, pipa tidak bisa dikeluarkan dari benda uji, gesekan dengan beton kecil karena tidak adanya penjangkaran diantara kedua material tersebut.
9. Lubang pada kolom ditentukan yaitu sebesar 7% dari luas penampang kolom.
10. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari.

### 1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas gaya geser yang terjadi pada kolom masif dan berlubang beton bertulang dengan variasi jarak beban tekan eksentris.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah mengetahui gaya geser yang terjadi pada kolom masif dan berlubang beton bertulang dengan variasi pembebanan tekan eksentris. Selain itu, penelitian ini juga sebagai bahan masukan untuk penelitian-penelitian yang lebih lanjut

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kolom

Kolom merupakan suatu elemen struktur yang mampu memikul beban tekan dan momen yang ditimbulkan oleh kekangan pada ujung akibat dari pengecoran monolit dari balok lantai dan pondasi ataupun akibat dari eksentrisitas yang tak terduga atau pengaturan yang kurang sempurna atau bahan-bahan yang berbeda-beda.

Kolom beton murni dapat mendukung beban yang sangat kecil, tetapi kapasitas daya dukung bebannya akan meningkat cukup besar jika ditambahkan tulangan longitudinal dan peningkatan akan lebih besar lagi jika diberikan pengekangan lateral pada tulangan longitudinal.

Pengekangan lateral yang dapat disebut pula dengan tulangan pengikat atau sengkang dapat mencegah tulangan longitudinal bergerak selama pembangunan dan menahan kecenderungan tulangan longitudinal menekuk ke arah luar akibat beban.

#### 2.2 Jenis Kolom

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

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

- Kolom segiempat atau bujur sangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang.
- Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral.
- Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural di dalamnya. Profil baja ini biasanya diletakkan di dalam selubung tulangan biasa.

Jenis kolom berdasarkan eksentrisitasnya terbagi atas:

- Kolom dengan eksentrisitas kecil, jika  $e < e_b$ .
- Kolom dengan eksentrisitas besar, jika  $e > e_b$ .

Jenis kolom berdasarkan angka kelangsingan terbagi atas kolom pendek dan kolom panjang atau langsing. Angka kelangsingan suatu struktur kolom dapat dinyatakan dengan rasio kelangsingan,

$$\frac{kl_u}{r} \quad (2-1)$$

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

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

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (2-2)$$

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  $k = 1,0$

Bilamana nilai angka kelangsingan memenuhi pada persamaan (2-2) maka kolom tersebut dapat digolongkan kolom pendek, tetapi sebaliknya apabila tidak demikian maka digolongkan kolom panjang.

### 2.3 Persyaratan Peraturan ACI Untuk Kolom

Peraturan ACI mesyaratkan pada batasan dimensi, tulangan, kekangan lateral, dan hal lain yang berhubungan dengan kolom beton, sebagai berikut:

- 1). Persentase tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 1% luas bruto penampang kolom. Dengan maksud, guna menghindari terjadinya keruntuhan non-daktail yang mendadak seperti yang terjadi pada kolom beton murni.
- 2). Persentase tulangan maksimum tidak boleh lebih besar dari 8% luas bruto penampang kolom beton. Dengan maksud, guna menghindari tulangan yang terlalu rapat.
- 3). Jumlah tulangan longitudinal minimum yang diizinkan untuk batang tekan adalah



- Empat untuk tulangan dengan sengkang persegi atau lingkaran;
  - Tiga untuk tulangan dengan sengkang segitiga;
  - Enam untuk tulangan dengan sengkang spiral.
- 4). Peraturan ACI tidak secara langsung memberikan luas penampang kolom minimum, tetapi memberikan selimut yang diperlukan di sisi luar sengkang atau spiral dan memberikan jarak yang diperlukan antara tulangan longitudinal dari satu permukaan kolom ke permukaan lainnya.
  - 5). Jarak sengkang pusat ke pusat tidak boleh lebih dari enam belas kali diameter tulangan longitudinal, 48 kali diameter sengkang, atau dimensi lateral terkecil dari kolom.
  - 6). Peraturan ACI menyatakan bahwa jarak bersih spiral tidak boleh lebih kurang dari 1 in atau lebih dari 3 in. Jika sambungan diperlukan dalam spiral, sambungan tersebut dilakukan dengan las atau *lapping* tulangan atau kawat sepanjang 48 diameter atau 12 inchi, mana yang lebih besar.

#### 2.4 Tipe Keruntuhan

Terdapat tiga tipe keruntuhan yang terjadi pada beton bertulang:

- Keruntuhan seimbang (*balanced failure*), terjadi jika baja dan beton tepat mengenai kuat batasnya, yaitu tulangan baja mencapai titik leleh ( $f_s=f_y$ ) dan regangan beton mencapai nilai ultimit (0,003). Kondisi seimbang dapat menjadi tolak ukur untuk keadaan tipe keruntuhan tarik atau tipe keruntuhan tekan melalui jumlah tulangan yang relatif sedikit atau tidak untuk mencapai sifat keruntuhan yang daktail.
- Keruntuhan tekan (*compression failure*). Terjadi jika tulangan baja masih elastis ( $f_s<f_y$ ) dan nilai blok tekan beton lebih besar dari nilai blok tekan beton seimbang ( $a>a_b$ ). Sifat keruntuhan adalah getas (non daktail) akibat jumlah tulangan baja relatif banyak. Pada saat terjadi keruntuhan dimulai dari beton sedangkan tulangan baja masih bersifat elastis. Kondisi ini berbahaya sebab tidak dapat melihat adanya deformasi yang besar yang dapat dijadikan suatu pertanda bilamana struktur tersebut akan runtuh.
- Keruntuhan tarik (*tension failure*). Terjadi jika tulangan baja sudah leleh ( $f_s>f_y$ ) dan nilai blok tekan beton lebih kecil dari nilai blok tekan beton seimbang ( $a<a_b$ ). Sifat keruntuhan adalah daktail, pada saat terjadi keruntuhan dimulai dari tulangan baja yang berdeformasi besar (meleleh) lalu diikuti beton pecah. Semua perencanaan beton bertulang sesuai dengan peraturan diharapkan mengacu pada keadaan seperti ini.

## 2.5 Diagram Interaksi

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

$$P = 0,85 f_c' b d + A_{st} f_y \quad (2-3)$$

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

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

$$f_s = 0,003 \left( \frac{\beta_1 d - a}{a} \right) E_{st} \quad (2-4)$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_s \quad (2-5)$$

$$M = 0,85 f_c' a b \left( \frac{h}{2} - d'' \right) + A_s' f_y d'' + A_s f_s d'' \quad (2-6)$$

### 3). Keruntuhan imbang (*balance failure*)

$$a_b = \frac{0,003 E_{st}}{0,003 E_{st} + f_y} \beta_1 d \quad (2-7)$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_y \quad (2-8)$$

$$M = 0,85 f_c' a b \left( \frac{h}{2} - d'' \right) + A_s' f_y d'' + A_s f_y d'' \quad (2-9)$$

### 4). Keruntuhan tarik (*tension failure*)

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

$$f_s' = 0,003 \left( \frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) E_{st} \quad (2-10)$$

$$P = 0,85 f_c' a b + A_s' f_s' - A_s f_y \quad (2-11)$$

$$M = 0,85 f_c' a b \left( \frac{h}{2} - d'' \right) + A_s' f_s d'' + A_s f_y d'' \quad (2-12)$$

5). Lentur murni

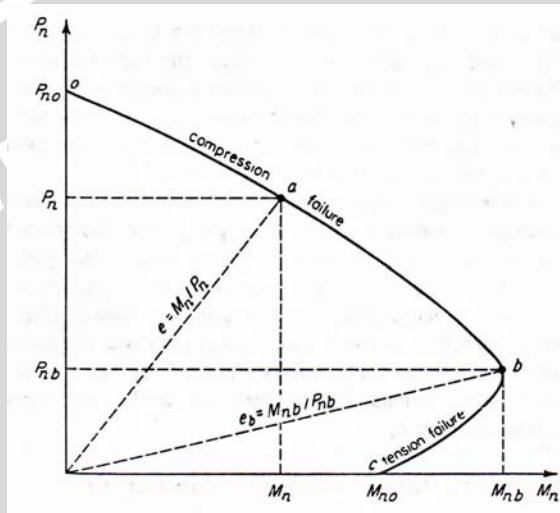
Pada kondisi ini kemungkinan  $f_s'$  belum meeleh sehingga

$$f_s' = 0,003 \left( \frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) E_{st} \tag{2-13}$$

$$P = 0,85 f_c' b a + A_s' 0,003 \left( \frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) E_{st} - A_s f_y \tag{2-14}$$

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

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



Gambar 2.1 Diagram interaksi untuk tekan dengan lentur,  $P_n$  terhadap  $M_n$

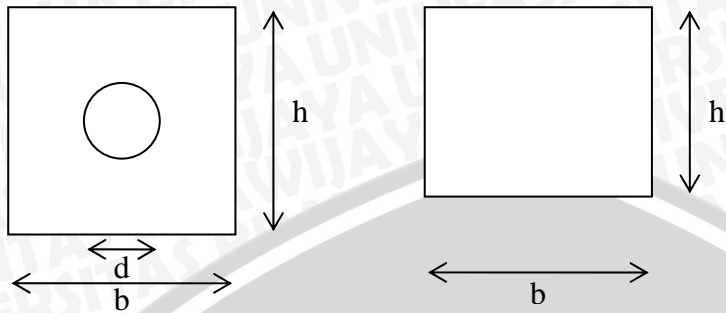
Untuk keperluan dalam penelitian ini, ditentukan bahwa kolom mengalami keruntuhan tarik (*tension reinforced*) di suatu titik pada diagram interaksi dimana letak titik tersebut berada di luar kapasitas kolom. Dengan diberikan nilai beban ( $P_u$ ) tertentu maka diperoleh  $P$  dan  $M$  sehingga nilai 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 2.2 Penampang Kolom berlubang

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

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

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

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

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

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

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

$$a' = a \tag{2-18}$$

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

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

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.

## 2.7 Gaya Geser

### 2.7.1 Mekanisme Transfer Geser

Sebelum mengalami keruntuhan geser, kondisi tegangan di bagian (antara sisi bawah tarik lentur dan sisi atas tekan lentur) dari komponen beton bertulang, berbeda keadaannya dibandingkan dengan yang dianalisis memakai teori elastis linear. Laporan tahun 1973 dari ASCE ACI Committee 426 dapat diketahui bahwa ada empat mekanisme transfer gaya geser yang diketahui, yaitu :

- Sebagai tegangan geser pada beton yang tidak retak, yaitu pada daerah tekan lentur ;
- Transfer melalui bidang temu (*interface*) geser yang umum disebut sebagai *aggregate interlocking* atau *crack friction* ;
- Aksi pengangkuran (*dowel action*) tulangan memanjang ;
- Aksi busur pelengkung (*arch action*).

Adapun kontribusi mekanisme terhadap kapasitas geser tergantung kondisi balok dan pembebanannya. Sebagai contoh, mekanisme transfer sebagai tegangan geser pada beton utuh (tidak retak) sangat banyak terjadi pada kolom dengan beban aksial tekan, lentur dan geser yang besar, sedangkan pada balok yang langsing dan tidak ada gaya aksial maka mekanisme transfer tersebut jarang terjadi, karena bagian desak beton yang terbentuk relatif kecil. Aksi pengangkuran juga tidak banyak terjadi jika angkur terletak di dekat permukaan luar, tetapi hal tersebut dapat diabaikan jika balok mempunyai rasio tulangan memanjang yang banyak, dan sangat berpengaruh jika tulangan memanjang yang tersebar merata sebagai lapisan-lapisan pada bagian badan balok meskipun rasio tulangan memanjangnya kecil.

### 2.7.2 Terjadinya Tarik Diagonal

L. Wahyudi (1997:166) menyatakan “Terdapat tiga kombinasi tegangan yang mungkin, yakni:

- Kondisi dengan harga momen lentur besar, sedangkan gaya geser kecil. Retak terjadi pada bagian tepi yang mengalami tegangan tarik dan arahnya hampir tegak lurus terhadap sumbu balok, disebut sebagai retak lentur (*flexural cracks*).

- b) Kondisi dengan harga momen lentur dan gaya geser memiliki besar yang sama. Retak lentur akan terjadi lebih dahulu, dan lebar ataupun panjang retak ini dikendalikan oleh adanya tulangan longitudinal. Bila tegangan tarik diagonal pada daerah di atas retak ini melampaui kekuatan tarik beton, retak tersebut akan menjalar membelok ke arah diagonal. Disebut retak geser-lentur (*flexural-shear cracks*).
- c) Kondisi dengan harga momen lentur kecil sedangkan harga gaya geser besar. Terjadi retak diagonal (*diagonal tension cracks* atau *web shear cracks*). Pada keadaan ini, retak lentur sangat kecil, tegangan tarik diagonal membentuk sudut  $45^{\circ}$  dan nilainya sama dengan nilai tegangan geser yang maksimum pada garis netral. Oleh karena itu, retak diagonal ini hampir selalu terbentuk pada daerah sumbu netral.”

### 2.7.3 Pengaruh Gaya Aksial Tekan

Selain mengalami gaya geser dan lentur, balok beton bertulang juga dibebani gaya aksial tekan ataupun tarik yang bekerja serentak dengan geser dan momen lentur. Gaya ini merupakan akibat gaya luar, gaya prategang, perubahan temperatur, ataupun sebagai efek susut (L. Wahyudi, 1997: 174)

Retak diagonal tergantung dari tegangan geser ( $v$ ) dan tegangan lentur ( $f$ ). Dapat dinyatakan dengan

$$v = K_1 \left( \frac{V}{bd} \right) \quad (2-21)$$

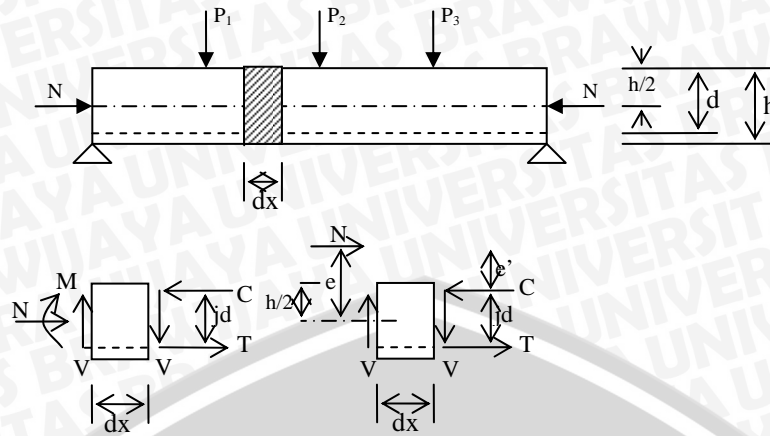
dan

$$f = K_2 \left( \frac{M}{bd^2} \right) \quad (2-22)$$

Persamaan (2-21) merupakan tegangan geser pada daerah serat atas retak lentur dengan tegangan geser rata-rata, sedangkan persamaan (2-22) menyatakan tegangan tarik lentur pada daerah serat atas dengan tegangan tarik pada tulangan lentur melalui rasio modulus  $n = E_s/E_c$ .

$$f = K_0 \left( \frac{f_s}{n} \right) = K_0 \left( \frac{M}{n A_s jd} \right) = K_0 \left( \frac{M}{n \rho j bd^2} \right) \quad (2-23)$$

Dengan  $jd$  adalah lengan momen kopel antara C dan T. Jika  $K_0$  merupakan konstanta yang belum diketahui maka konstanta  $K_2 = K_0 / n \rho j$ .



Gambar 2.3 Balok yang menerima beban aksial tekan, momen, dan gaya geser

Dari gambar 2.3 tinjau suatu balok yang mengalami gaya aksial tekan ( $N$ ), momen ( $M$ ), dan gaya geser ( $V$ ). Pada bagian kecil batang sepanjang  $dx$  terjadi resultan gaya-gaya dalam yakni gaya tarik ( $T$ ), gaya tekan ( $C$ ), dan gaya geser ( $V$ ). Jika beban luar  $M$  dan  $N$  ekuvalen dengan gaya  $N$  yang bekerja sejarak eksentrisitas  $e$  ( $M/N$ ) dari sumbu penampang. Apabila gaya-gaya itu bekerja terhadap resultan gaya tekan  $C$  maka

$$e' = e + d - \frac{h}{2} - jd \quad (2-24)$$

Sehingga tegangan tulangan baja  $f_s$  dapat ditentukan dengan mengambil momen terhadap titik C

$$f_s = \frac{N e'}{A_s jd} \quad (2-25)$$

Dengan memasukkan persamaan (2-24) pada persamaan (2-25) dapat memberikan nilai  $f_s$

$$f_s = \frac{M + N(d - \frac{h}{2} - jd)}{A_s jd} \quad (2-26)$$

Pada umumnya nilai  $j$  mendekati nilai  $7/8$  untuk beban yang dapat menimbulkan retak diagonal. Oleh sebab itu, suku di dalam kurung persamaan (2-26) dapat ditulis dengan  $1/8(d-4h)$ . Dengan  $f = K_0 f_s / n$  diperoleh tegangan tarik beton pada titik ujung retak lentur.

$$f = K_0 \frac{M - N(4h - d) / 8}{n \rho_j b d^2} = K_2 \frac{M - N(4h - d) / 8}{b d^2} \quad (2-27)$$

Dengan mengekuivalenkan nilai tegangan lentur ( $f$ ) dan tegangan geser ( $v$ ) diperoleh:

$$\frac{v}{f} = \frac{K_1 V d}{K_2 M} \quad (2-28)$$

Dengan melihat persamaan (2-27) dengan persamaan (2-23) dan persamaan (2-22) dan nilai momen dimodifikasi menjadi  $M - \frac{1}{8} N(d-4h)$  dapat diaplikasikan jika terjadi beban aksial tekan, maka kekuatan beton terhadap gaya geser dapat dirumuskan sebagai:

$$V_c = \frac{1}{7} \left( \sqrt{f_c'} + 120 \rho \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (2-29)$$

Untuk kondisi dengan beban aksial yang bekerja nilai  $M_u$  dimodifikasi dengan  $M_m$  sehingga

$$M_m = M_u - \frac{N_u(4h-d)}{8} \quad (2-30)$$

Kuat beton terhadap gaya geser tidak boleh lebih dari

$$V_c = 0,3 \sqrt{f_c'} b_w d \left( 1 + \frac{0,3 N_u}{A_g} \right) \quad (2-31)$$

Persamaan (2-29) dapat disederhanakan menjadi persamaan (2-32) sebagaimana yang telah di atur dalam ACI code 11.3.1.2 yang telah dikonversikan dalam satuan SI, sebagai berikut

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \quad (2-32)$$

Dan tidak boleh lebih besar dari

$$V_c = 0,3 \sqrt{f_c'} b_w d \quad (2-33)$$

## 2.8 Prosedur Perencanaan Geser Secara Umum

Prosedur perencanaan geser mengacu pada SNI-2847-2002

- a) Kuat geser perlu  $\leq$  kuat geser rencana

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq V_c + V_s \quad (2-34)$$

- b) Kuat geser penampang beton

- Untuk geser dan lentur

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d \quad (2-35)$$

- Untuk geser dan aksial tekan

$$V_c = \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w d \quad (2-36)$$



- Untuk geser dan torsi

$$V_c = \frac{\frac{1}{6}\sqrt{f_c'} b_w d}{V \left[ 1 + \left( 2,5 C_t \frac{T_u}{V_u} \right)^2 \right]} \quad (2-37)$$

- Semua  $V_c$  diatas tidak boleh lebih dari

$$V_c \leq 0,3\sqrt{f_c'} b_w d \quad (2-38)$$

c) Evaluasi penampang

- Jika  $V_u \leq \frac{1}{2}\phi V_c$ , maka tulangan sengkang tidak perlu
- Jika  $\frac{1}{2}\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$ , maka perlu sengkang minimum

$$A_v \text{ min} = \frac{b s}{3 f_y} \quad (2-39)$$

- Jika  $\phi V_c < V_u$ , maka perlu tulangan sengkang

$$V_s = V_u - V_c \quad (2-40)$$

$$\text{Dengan nilai } V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2-41)$$

Untuk “perlu tulangan sengkang” nilai  $V_s$  harus dibatasi dengan nilai  $V_s$  pada persamaan (2-40) dengan batas

$$V_s < \frac{2}{3}\sqrt{f_c'} b_w d \quad (2-42)$$

Jika tidak maka penampang harus diperbesar.

- d) Atur jarak persamaan (2-41) sedemikian rupa hingga memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- $V_s < \frac{1}{3}\sqrt{f_c'} b_w d$  (2-43)

Jika memenuhi persamaan (2-43), jarak maksimal (s) adalah 0,5 d atau 600 mm

- $\frac{1}{3}\sqrt{f_c'} b_w d > V_s \leq \frac{2}{3}\sqrt{f_c'} b_w d$  (2-44)

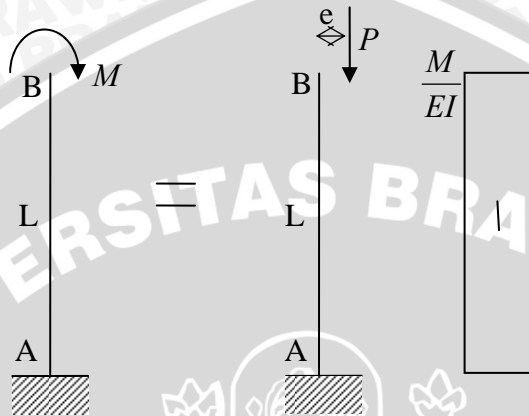
Jika memenuhi persamaan (2-44), jarak maksimal (s) adalah 0,25 d atau 300 mm

- e) Kontrol kapasitas geser jika tergolong “perlu tulangan sengkang” dengan menggunakan persamaan (2-34)

## 2.9 Beban Aksial dan Beban Lateral Berdasar Analogi Lentutan

Untuk mencari perkiraan besarnya gaya lateral batang pada gambar 2.5 sebagai beban yang memberikan efek sekunder untuk kondisi batang pada gambar 2.4 digunakan dengan menyamakan kondisi besarnya lendutan pada kedua batang tersebut. Metode ini dapat digunakan jika lendutan yang terjadi adalah cukup kecil.

Batang dengan kondisi jepit bebas dengan beban momen, maka



Gambar 2.4 batang AB dengan pembebanan momen

Untuk mendapatkan lendutan pada titik B, dapat dicari salah satu diantaranya dengan metode *conjugate beam*, seperti berikut :

- Besarnya beban  $Q$  merupakan luasan bidang momen pada balok *conjugate*

$$\theta_B = Q \quad (2-45)$$

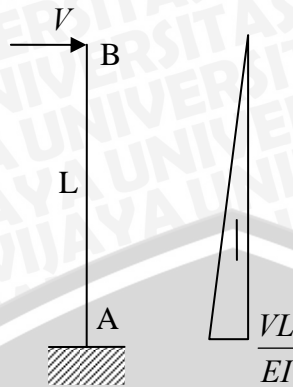
- Rotasi di B sama dengan reaksi di B sehingga

$$\theta_B = \frac{ML}{EI} \quad (2-46)$$

- Lendutan merupakan hasil kali luasan bidang momen dengan titik berat terhadap titik yang dituju

$$\Delta_B = Q \cdot \frac{L}{2} = \frac{ML^2}{2EI} \quad (2-47)$$

Batang dengan kondisi jepit bebas dengan beban lateral, maka



Gambar 2.5 batang AB dengan pembebanan lateral

Untuk mendapatkan lendutan pada titik B, dapat dicari salah satu diantaranya dengan metode *conjugate beam*, seperti berikut :

- Besarnya beban Q merupakan luasan bidang momen pada balok *conjugate*

$$\theta_B = Q \tag{2-48}$$

- Rotasi di B sama dengan reaksi di B sehingga

$$\theta_B = \frac{VL^2}{2EI} \tag{2-49}$$

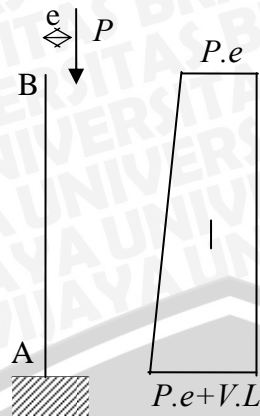
- Lendutan merupakan hasil kali luasan bidang momen dengan titik berat terhadap titik yang dituju

$$\Delta_B = Q \cdot \frac{2L}{3} = \frac{VL^3}{3EI} \tag{2-50}$$

Sehingga dengan menyamakan lendutan pada kondisi kedua batang tersebut, persamaan (2-47) dan persamaan (2-50), dapat diperoleh :

$$\frac{ML^2}{2EI} = \frac{VL^3}{3EI}$$

$$V = \frac{3M}{2L} = \frac{3Pe}{2EI} \tag{2-51}$$



Gambar 2.6 batang AB yang menerima beban ekuivalen dan momen sekunder. Sehingga pembebanan momen pada batang AB akan mendapatkan tambahan momen sekunder sebesar  $V.L$  di tumpuan jepit.

### 2.10 Regangan Geser

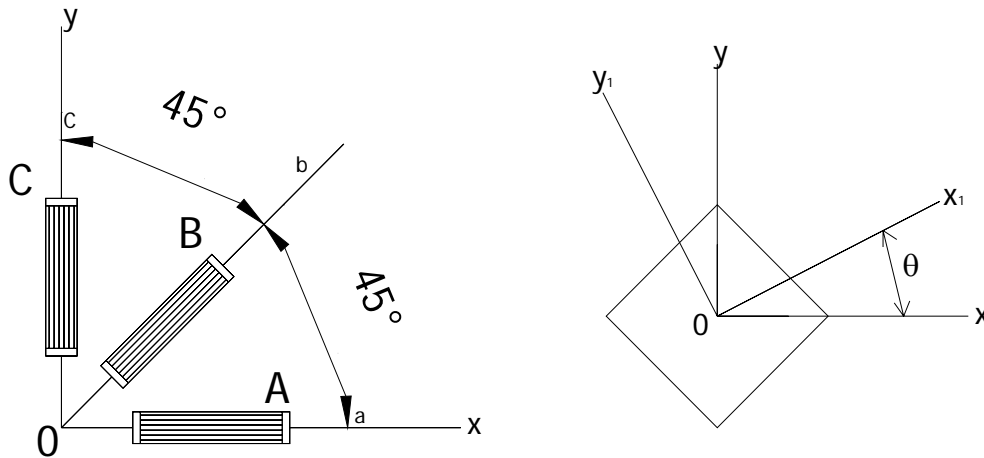
Untuk memunculkan tegangan geser maka pembebanan diletakkan arah lateral yaitu tegak lurus terhadap sumbu penampang. Aksi ini disebut juga dengan geser langsung, dengan kondisi tegangan geser dihasilkan oleh aksi langsung dari gaya-gaya untuk memotong bahan. Tegangan geser juga timbul secara tidak langsung apabila elemen struktur mengalami tarik, lentur, dan torsi (Gere & Timoshenko, 1997: 29).

Tegangan geser dimunculkan karena pada suatu elemen bahan terjadi regangan geser seperti halnya pada kasus tarik. Tegangan geser tidak mempunyai kecenderungan untuk memperpanjang atau memperpendek elemen dalam arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ , tetapi tegangan geser menyebabkan perubahan bentuk elemen. Bila elemen semula berbentuk kubus maka akan berdeformasi menjadi kubus yang miring (Gere & Timoshenko, 1997: 30). Gaya lintang merupakan turunan (*differensial*) dari fungsi momen. Apabila suatu elemen yang dibebani secara aksial eksentris menimbulkan momen dengan fungsi konstan sehingga gaya lintang nol. Akan tetapi, seperti yang telah dikemukakan bahwa tegangan geser timbul secara tidak langsung (efek sekunder) akibat lentur, dan menjadikan persamaan garis momen dengan bergradien kecil disebut pula momen sekunder.

Untuk mengukur besarnya suatu regangan maka dipasang suatu *strain gauge* (pengukur regangan). Pengukur ini sangat sensitif dan dapat mengukur regangan hingga sekecil  $1 \times 10^{-6}$ . *Strain gauge* hanya dapat mengukur regangan dalam satu arah. Jika menghendaki mendapatkan dua regangan lainnya maka dipasang *strain rosette* (roset tegangan). *Strain rosette* terdiri atas tiga lembar *strain gauge* yang tersusun dua *strain*

*gauge* saling tegak lurus dan selempar *strain gauge* bersudut 45° diantara keduanya.

Berikut skema gambar pemasangan *strain rosette*:



Gambar 2.7 *Strain rosette* pada suatu elemen

Persamaan transformasi untuk tegangan bidang memberikan

$$\sigma_{x1} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (2-48)$$

Oleh karena hubungan antara tegangan dan regangan adalah senilai maka dari persamaan (2-48) menjadi

$$\varepsilon_{x1} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \cos 2\theta + \gamma_{xy} \sin 2\theta \quad (2-49)$$

Pengukuran pada *strain rosette* di A dan C masing-masing searah dengan koordinat kartesius maka  $\varepsilon_x = \varepsilon_a$  dan  $\varepsilon_y = \varepsilon_c$ , nilai  $\theta = 45$ , dan diketahui pula bahwa  $\varepsilon_{x1} = \varepsilon_b$ , dengan demikian regangan geser ( $\gamma_{xy}$ ).

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c \quad (2-50)$$

### 2.11 Hipotesis Penelitian

Pengaruh lubang terhadap kapasitas geser adalah berkurangnya kapasitas geser beton, karena nilai tinggi penampang berkurang sehingga dapat diambil hipotesis bahwa dengan adanya lubang pada kolom akan mengakibatkan penurunan kapasitas geser akibat pembebanan beban aksial tekan eksentris hingga kolom berlubang mencapai keruntuhan tarik (*tension failure*).

## 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.

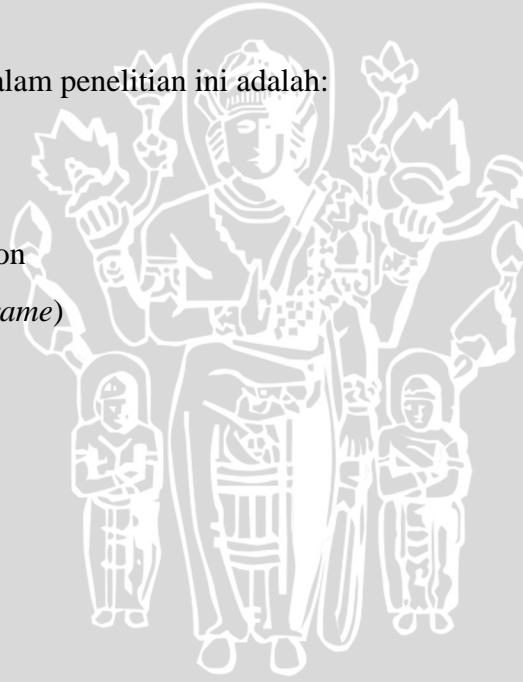
##### a. Persiapan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

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

##### b. Bahan yang diperlukan

- Semen Gresik type 1
- Air yang berasal dari air bersih Perusahaan Air Minum (PDAM), kodya Malang
- Kerikil (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 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 untuk mengetahui nilai tegangan leleh ( $f_y$ )

### 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 masif	2x	2x	2x
Kolom berlubang	2x	2x	2x

Benda uji berupa kolom ini dibuat dengan tiga 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

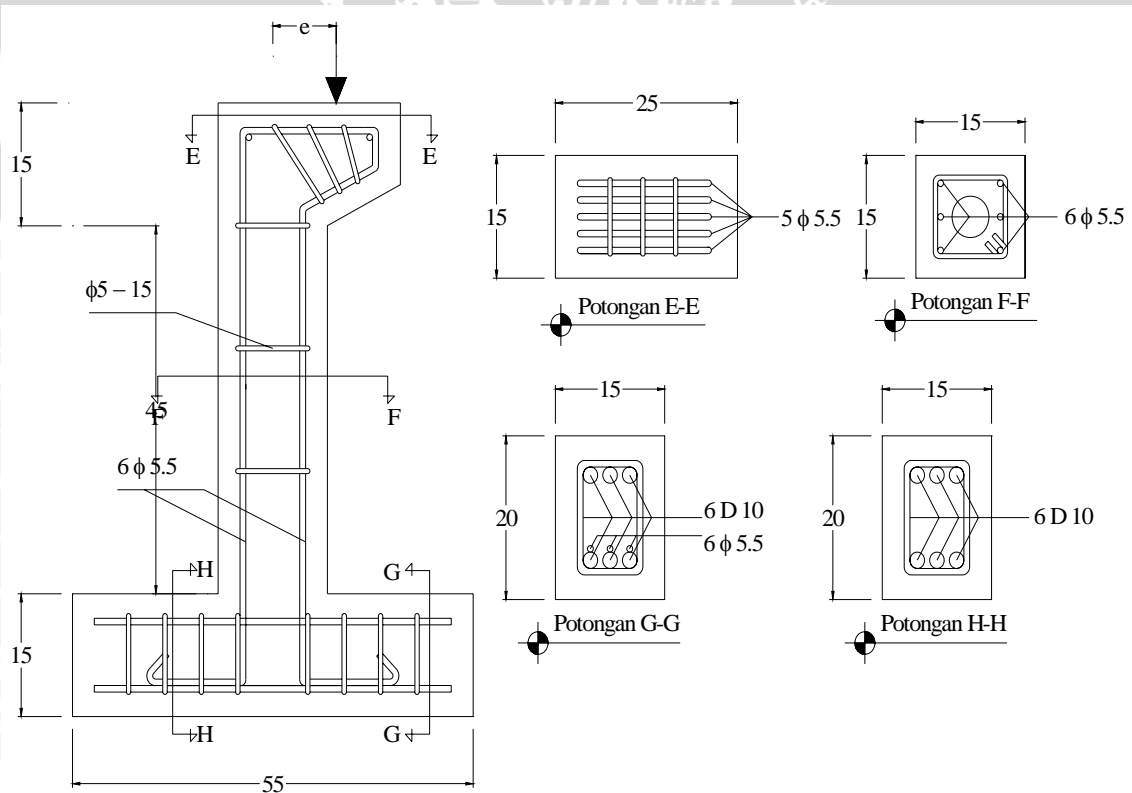
Tahapan-tahapan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Persiapan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji
2. Pembuatan cetakan beton (bekisting) dan pembuatan cetakan lubang ukuran 4x4 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 :

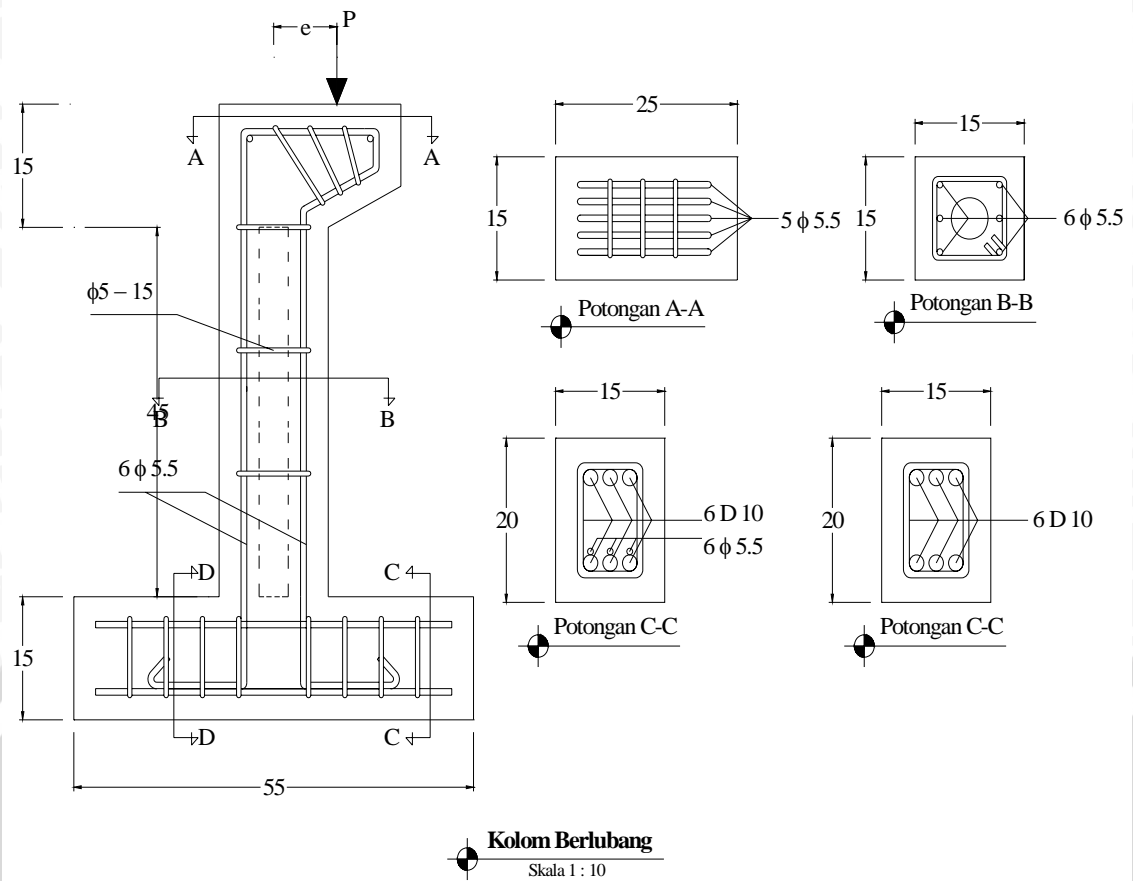
1. Setelah perawatan selama 28 hari sejak pengecoran, pembebanan dilakukan. Kolom beton ditempatkan pada alat uji. Kemudian kolom diberi beban aksial eksentris seperti gambar dibawah ini :



**Kolom Masif**  
Skala 1 : 10

Gambar 3.1. Pembebanan eksentris pada kolom masif

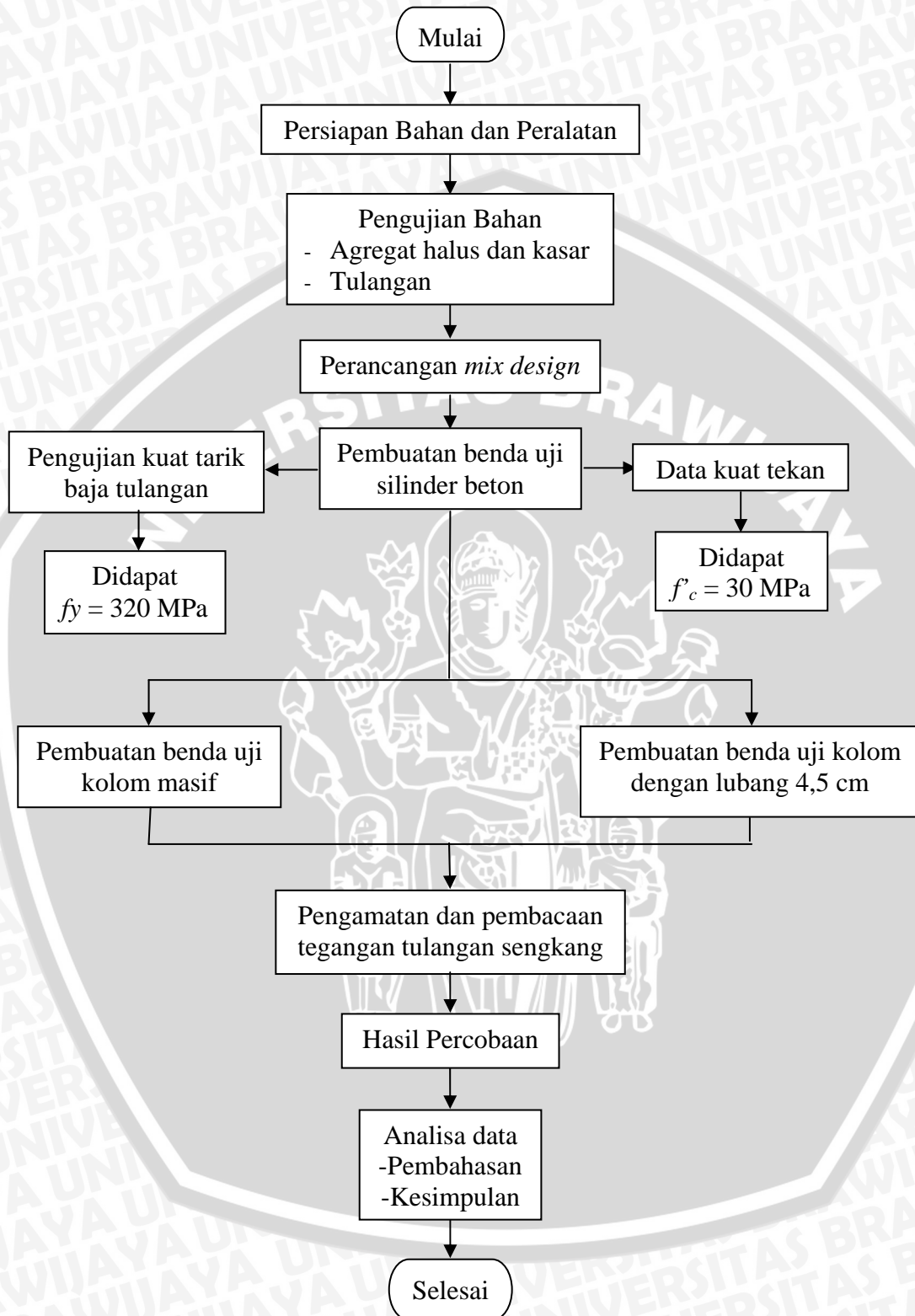




Gambar 3.2. Pembebanan eksentris pada kolom berlubang

- 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. Langkah-langkah penelitian



### 3.7. Variabel Penelitian

Variabel yang terkait dalam penelitian ini, antara lain:

1. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang berubahnya bebas ditentukan oleh peneliti. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai variabel bebas adalah eksentrisitas pada kolom.
2. Variabel terikat (*dependent variable*), yaitu variabel yang berubahnya tergantung pada variabel bebas. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai variabel terikat adalah tegangan sengkang yang terjadi pada kolom beton bertulang hingga kolom sampai mengalami keruntuhan.

### 3.8. Analisis Data

#### 3.8.1. *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 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  $\mu_A$ ,  $\mu_B$ , dan  $\mu_C$

$H_a$  : Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara nilai  $\mu_A$ ,  $\mu_B$ , dan  $\mu_C$

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* ( $\alpha$ )

Nilai  $\alpha$  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 $f_s$	$X_{11}$	$X_{11'}$	$X_{21}$	$X_{21'}$	$X_{31}$	$X_{31'}$
	$X_{12}$	$X_{12'}$	$X_{22}$	$X_{22'}$	$X_{32}$	$X_{32'}$
	$X_{13}$	$X_{13'}$	$X_{23}$	$X_{23'}$	$X_{33}$	$X_{33'}$
	...	...	...	...	...	...
	$\Sigma n_1$	$\Sigma n_{1'}$	$\Sigma n_2$	$\Sigma n_{2'}$	$\Sigma n_3$	$\Sigma n_{3'}$
	$\Sigma X_{1n}$	$\Sigma X_{1n'}$	$\Sigma X_{2n}$	$\Sigma X_{2n'}$	$\Sigma X_{3n}$	$\Sigma X_{3n'}$
	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_{1'}$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_{2'}$	$\bar{X}_3$	$\bar{X}_{3'}$
	$s^2_1$	$s^2_{1'}$	$s^2_2$	$s^2_{2'}$	$s^2_3$	$s^2_{3'}$

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

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

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

$$SS_w = SS_t - SS_b \tag{3-3}$$

6. Hitung jumlah kuadrat antarkelompok.

$$dkSS_t = N - 1 \tag{3-4}$$

$$dkSS_w = N - k \tag{3-5}$$

$$dkSS_b = k - 1 \tag{3-6}$$



## 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  $F_{tabel}$ 

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

$$F_{tabel} = F(dk SS_b, dk SS_w) \quad (3-10)$$

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:

$$\hat{Y} = a + bX \tag{3-12}$$

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					
	$\Sigma X_i$	$\Sigma Y_i$	$\Sigma X_i Y_i$	$\Sigma X_i^2$	$\Sigma Y_i^2$



4. Hitung a dan b dengan rumus:

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

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

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	$\sum Y^2_i$		
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 (bla)	1	$JK_{reg (bla)} = b \sum X_i Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n}$	$RJK_{(reg bla)} = JK_{(reg bla)}$	
Residu	n-2	$JK_{res} = \sum Y^2_i - JK_{reg (bla)} - JK_{reg (a)}$	$RJK_{(E)} = \frac{JK_{res}}{n-2}$	
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	$JK_{(E)} = \sum_x \sum Y^2_i - \frac{(\sum Y_i)^2}{n}$	$RJK_{(E)} = \frac{JK_{(E)}}{n-k}$	

7. Tentukan taraf signifikasinya ( $\alpha$ ).

8. Cari  $F_{sign}$  tabel dengan rumus  $F_{sign\ tabel} = F_{(1-\alpha)(dkreg)(bla),dkres}$  dan dengan melihat tabel F didapat nilai  $F_{sign\ tabel}$ .

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 : analisis agregat halus, analisis 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 dinyatakan bahwa pasir termasuk daerah gradasi No. 2 yang termasuk dalam pasir agak kasar. Hasil pengujian lainnya seperti 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. Dan hasil dari analisis ayakan gradasi kasar diperoleh bahwa batas gradasi kerikil ukuran maksimum 20 mm. Hasil pengujian lainnya seperti 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. Contoh	$f_y$ (mPa)	$f_y$ (mPa)
5,0	1	305	373
	2	407	
	3	407	
5,5	1	361	372
	2	377	
	3	377	

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 kuat tekan beton

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 diperoleh hasil, sebagai berikut

Tabel 4.5. Pengujian Kuat Tekan Beton

No. Benda Uji	Berat (kg)	Berat Isi (kg/cm <sup>3</sup> )	Beban Maksimum (kg)	Tegangan Benda Uji (x) (kg/cm <sup>2</sup> )	(x - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup>
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 4,5 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.

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 tentang pengaruh eksentrisitas pada nilai tegangan baja sengkang pada kolom berlubang.

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh eksentrisitas baik pada kolom masif 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 variabel bebas terhadap variabel terikat. Hipotesis yang diambil sebagai berikut :

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

$H_a$  : Hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa variasi eksentrisitas memberikan pengaruh terhadap nilai tegangan baja sengkang pada kolom beton bertulang baik untuk kondisi masif ataupun kondisi berlubang.

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

#### 4.7. Pembahasan

##### 4.7.1. Nilai *strain gauge* dan tegangan baja sengkang

*Strain gauge* hanya terpasang pada kolom berlubang sehingga hanya pada kolom berlubang pembacaan tegangan sengkang dapat diamati. Jumlah *strain gauge* yang terpasang berjumlah enam buah, satu buah *strain gauge* pada kolom eksentrisitas 100 mm tidak dapat dibaca.

Berdasarkan perlakuan percobaan uji tarik baja sengkang diperoleh mutu baja tarik sengkang leleh ( $f_y$ ) = 373,333 mPa dan melalui grafik hubungan regangan ( $\epsilon$ ) dan tegangan ( $\sigma$ ) diperoleh modulus elastisitas baja sengkang ( $E_s$ ) = 40024,426 mPa. Sehingga nilai

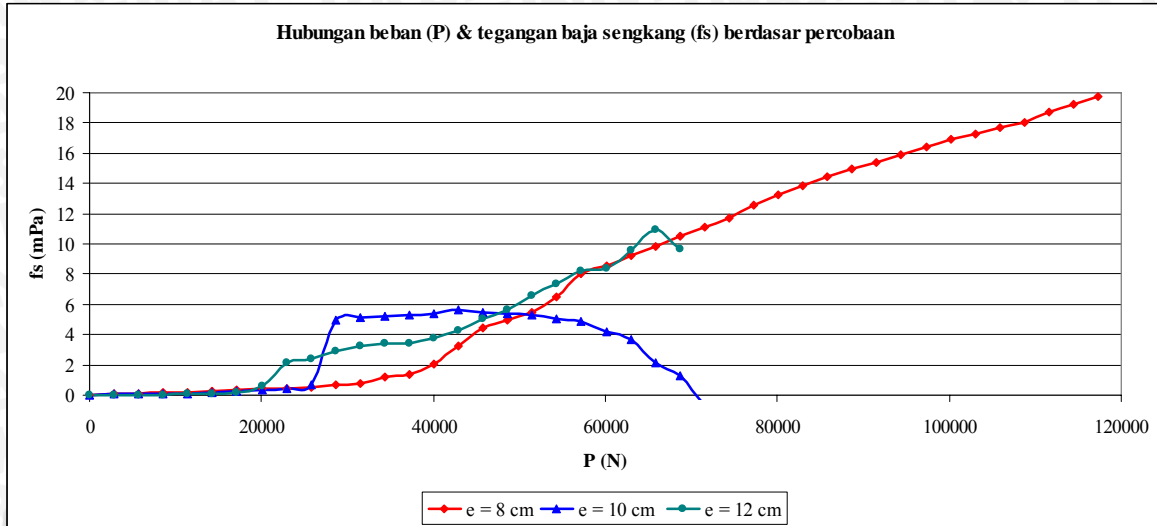
$$\text{regangan baja sengkang leleh } (\epsilon_y) = \frac{f_y}{E_s} = \frac{373,333}{40024,426} = 0,00933 .$$

Hasil pembacaan regangan dan tegangan baja sengkang maksimal , sebagai berikut:

Tabel 4.7. Nilai regangan baja sengkang maksimal pada kolom berlubang

	e = 80 mm	e = 100 mm	e = 120 mm
$\epsilon_s$	0,000494	0,000141	0,000274
$f_s$ (mPa)	19,772	5,643	10,967

Dari percobaan yang dilakukan dengan memberikan beban aksial eksentris hingga mencapai keruntuhan, nilai regangan baja sengkang maksimal menunjukkan belum mencapai kondisi leleh. Hal yang sama berlaku untuk tulangan sengkang, berikut ini merupakan grafik hubungan beban aksial eksentris (P) dan tegangan baja sengkang ( $f_s$ ).



Gambar 4.1. Grafik hubungan beban (P) & tegangan baja sengkang ( $f_s$ ) berdasar percobaan

Dapat diketahui bahwa pada saat beban aksial eksentris (P) mencapai keruntuhan tegangan baja pada sengkang belum mencapai kondisi leleh.

**4.7.2. Kapasitas geser nominal**

Kapasitas geser nominal ( $V_n$ ) pada beton bertulang merupakan penjumlahan kapasitas geser beton ( $V_c$ ) dan kapasitas tulangan baja sengkang ( $V_s$ ) pada saat keadaan leleh.

- a. Berdasarkan perhitungan analitis, pada saat mencapai kondisi keruntuhan tarik.

$$\begin{aligned}
 b_w &= 150 \text{ mm} & \phi_s &= 5 \text{ mm} \\
 d &= 101,647 \text{ mm} & f_y &= 373,311 \text{ mPa} \\
 f_c' &= 29,7 \text{ mPa} & s &= 150 \text{ mm} \\
 \text{diameter lubang} &= 45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.8. Kapasitas geser kolom berlubang saat kondisi leleh

	P (N)	$V_c$ (N)	$V_s$ (N)	$V_n$ (N)
e = 80 mm	117311	19398,635	9934,225	29332,860
e = 100 mm	68670	17097,499	9934,225	27031,724
e = 120 mm	68670	17097,499	9934,225	27031,724



b. Berdasarkan perhitungan analitis, pada saat mencapai kondisi keruntuhan tarik.

$$\begin{aligned}
 b_w &= 150 \text{ mm} & \phi_s &= 5 \text{ mm} \\
 d &= 112,25 \text{ mm} & f_y &= 373,311 \text{ mPa} \\
 f_c' &= 29,7 \text{ mPa} & s &= 150 \text{ mm} \\
 \text{diameter lubang} &= 45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.9. Kapasitas geser nominal kolom masif saat kondisi leleh

	P (N)	V <sub>c</sub> (N)	V <sub>s</sub> (N)	V <sub>n</sub> (N)
e = 80 mm	117311	21422,145	9934,225	31356,370
e = 100 mm	68670	18880,973	9934,225	28815,198
e = 120 mm	68670	18880,973	9934,225	28815,198

### 4.7.3. Gaya geser pada kolom melalui analogi lendutan

Maksud dari penggunaan analogi lendutan adalah untuk menghitung besarnya V<sub>u</sub>, guna keperluan :

a. Perhitungan kapasitas geser sengkang aktual secara teori untuk mendapatkan berjalannya nilai tegangan baja sengkang hingga keadaan leleh

- $V_u \equiv \frac{3 P.e}{2 L}$
- $V_s = V_u - V_c$  dari V<sub>s</sub> diperoleh  $f_s = \frac{s V_s}{A_v d}$

b. Perhitungan kapasitas geser sengkang aktual berdasar data laboratorium pada kolom masif untuk mendapatkan berjalannya nilai tegangan baja sengkang hingga keadaan leleh.

- $V_u \equiv \frac{3 \Delta.E.I}{L^3}$
- $V_s = V_u - V_c$  dari V<sub>s</sub> diperoleh  $f_s = \frac{s V_s}{A_v d}$

Sehingga dapat diperoleh grafik hubungan antara f<sub>s</sub> dan V seperti pada lampiran 10 dan lampiran 11. Makin besar nilai lendutan (Δ) maka makin besar pula nilai (V<sub>u</sub>). V<sub>s maks</sub> =  $\frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d = \frac{2}{3} \sqrt{29,7} 150 112,25 = 61173,675 \text{ N}$  jika melampaui nilai V<sub>s maks</sub> maka terjadi syarat “penampang diperbesar” atau dengan kata lain akan atau sedang terjadi menuju proses kegagalan geser. Lebih lanjut melalui perhitungan kapasitas geser sengkang (V<sub>s</sub>) dan tegangan baja sengkang (f<sub>s</sub>) diperoleh :



a. Kapasitas geser sengkang aktual berdasar teori saat keadaan runtuh

- Kolom masif

Tabel 4.10. Nilai  $f_s$  dan  $V_s$  kolom masif teori

	P (N)	$f_s$ (mPa)	$V_s$ (N)
e = 80 mm	117311	322	9642
e = 100 mm	68670	142	4246
e = 120 mm	68670	299	8963

- Kolom berlubang

Tabel 4.11. Nilai  $f_s$  dan  $V_s$  kolom berlubang teori

	P (N)	$f_s$ (mPa)	$V_s$ (N)
e = 80 mm	117311	438	11884
e = 100 mm	68670	214	5792
e = 120 mm	68670	383	10370

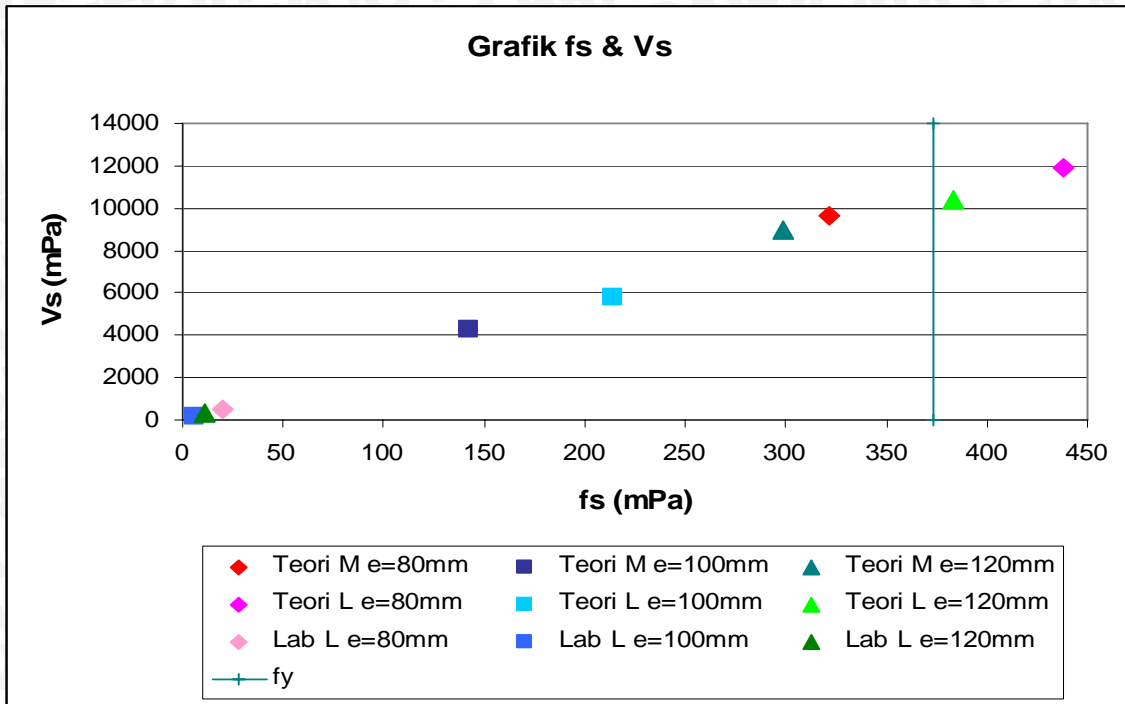
Disimpulkan bahwa nilai  $V_s$  dalam keadaan syarat “perlu sengkang” pada e = 120 mm kolom berlubang tulangan baja sengkang sudah leleh.

b. Kapasitas geser sengkang aktual kolom masif berdasar data laboratorium saat keadaan runtuh.

Tabel 4.12. Nilai  $f_s$  dan  $V_s$  kolom berlubang data laboratorium

	P (N)	$f_s$ (mPa)	$V_s$ (N)
e = 80 mm	117311	11603	347324
e = 100 mm	68670	6916	207027
e = 120 mm	68670	3951	118281

Disimpulkan bahwa nilai  $V_s$  diatas nilai  $V_{s \text{ maks}}$  maka terjadi “penampang diperbesar” atau akan sedang menuju kegagalan geser padahal kenyataannya, saat uji laboratorium kegagalan yang terjadi adalah *load cell* sudah konstan dan atau lebar retak sudah makin lebar. Jika ditampilkan secara grafis antara  $f_s$  dan  $V_s$ , sebagai berikut :

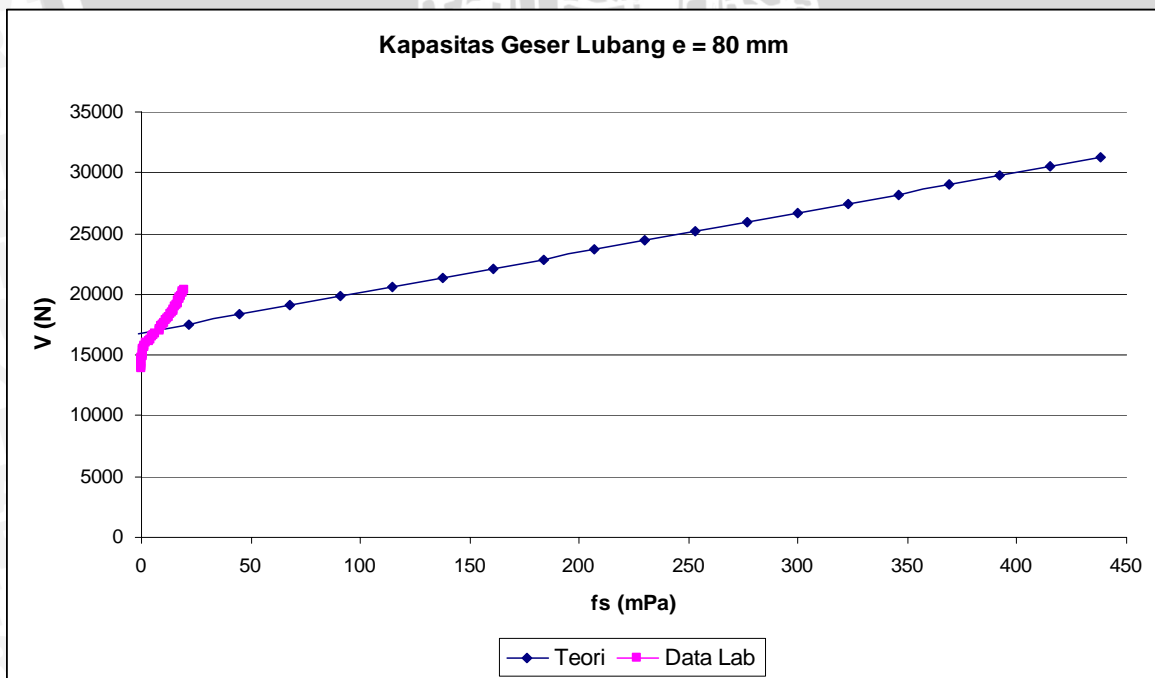


Gambar 4.2. Grafik hubungan  $f_s$  dan  $V_s$

#### 4.7.3. Kapasitas geser pada kolom berlubang beton bertulang

Gaya geser timbul secara tidak langsung akibat momen lentur (efek sekunder). Oleh karenanya momen yang dihasilkan memiliki persamaan dengan gradien yang kecil, jika persamaan momen ini dideferensialkan akan menghasilkan nilai gaya geser yang kecil pula. Berikut nilai kapasitas geser kolom berlubang saat mencapai kondisi runtuh tarik :

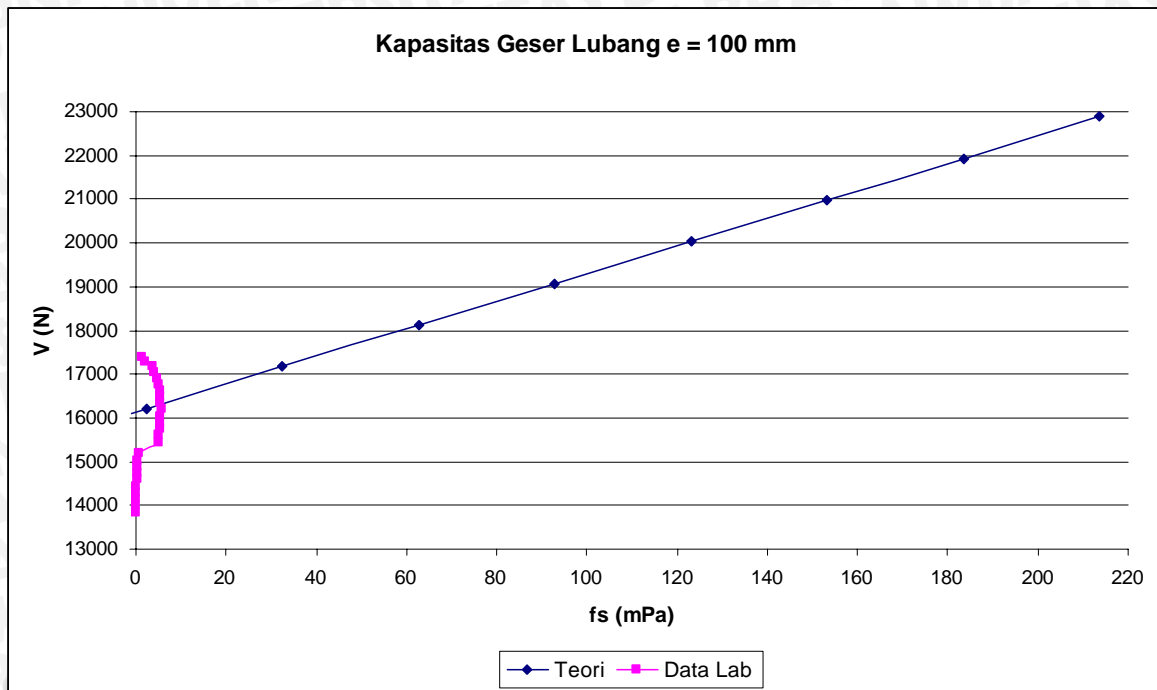
a. Eksentrisitas 80 mm



Gambar 4.3. Grafik hubungan  $f_s$  dan  $V_n$  kolom lubang  $e = 80$  mm

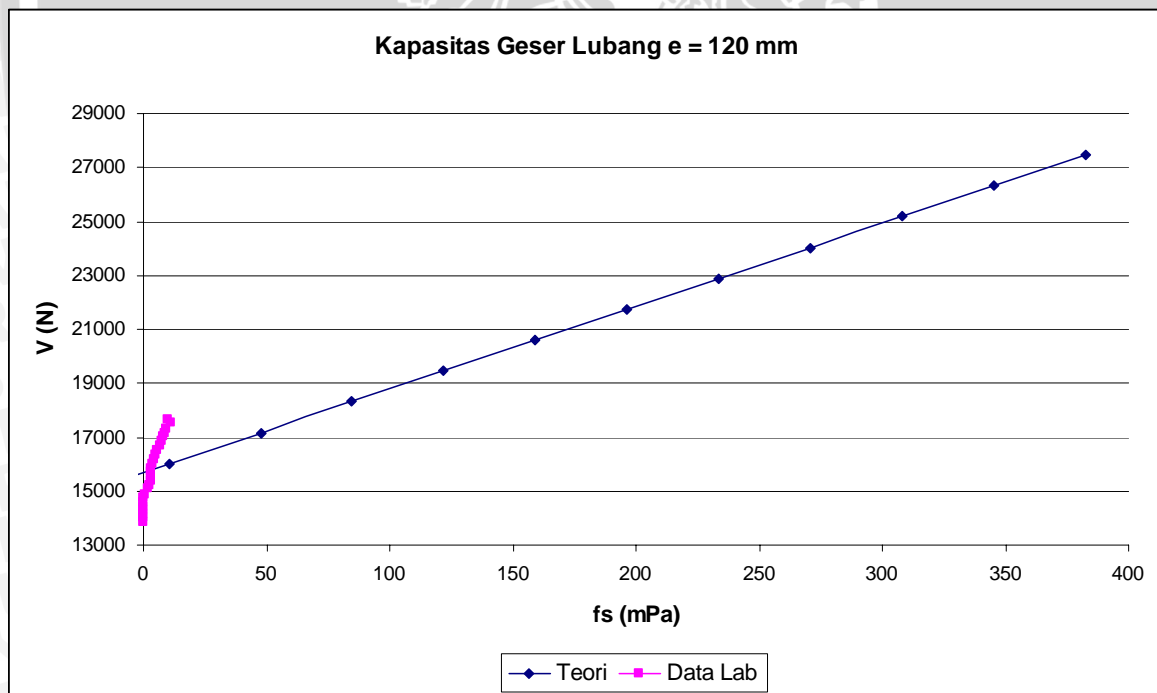


b. Eksentrisitas 100 mm



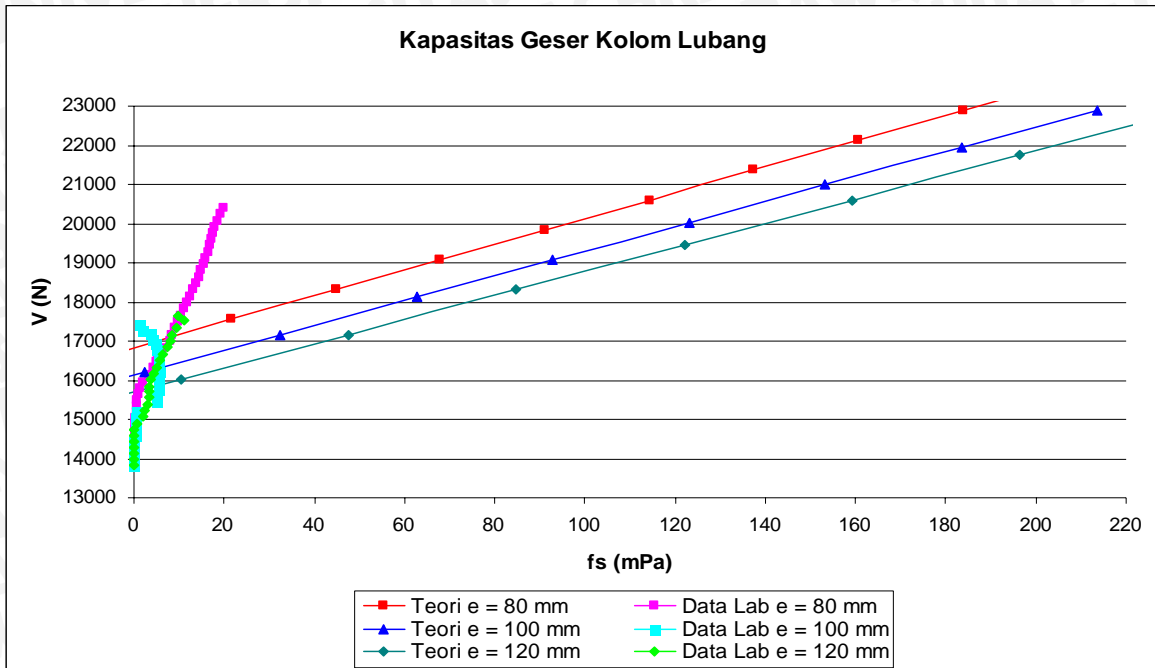
Gambar 4.4. Grafik hubungan fs dan Vn kolom lubang e = 100 mm

c. Eksentrisitas 120 mm



Gambar 4.5. Grafik hubungan fs dan Vn kolom lubang e = 120 mm

d. Kapasitas geser kolom berlubang

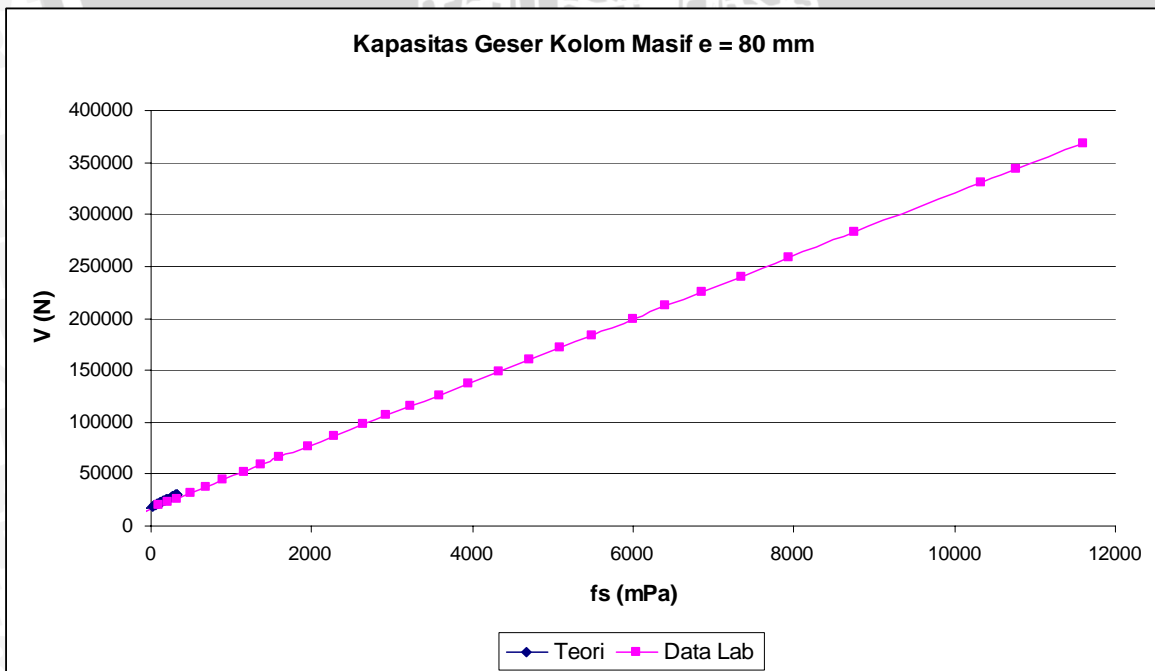


Gambar 4.6. Grafik hubungan fs dan Vn kolom lubang

4.7.4. Kapasitas geser pada kolom masif beton bertulang

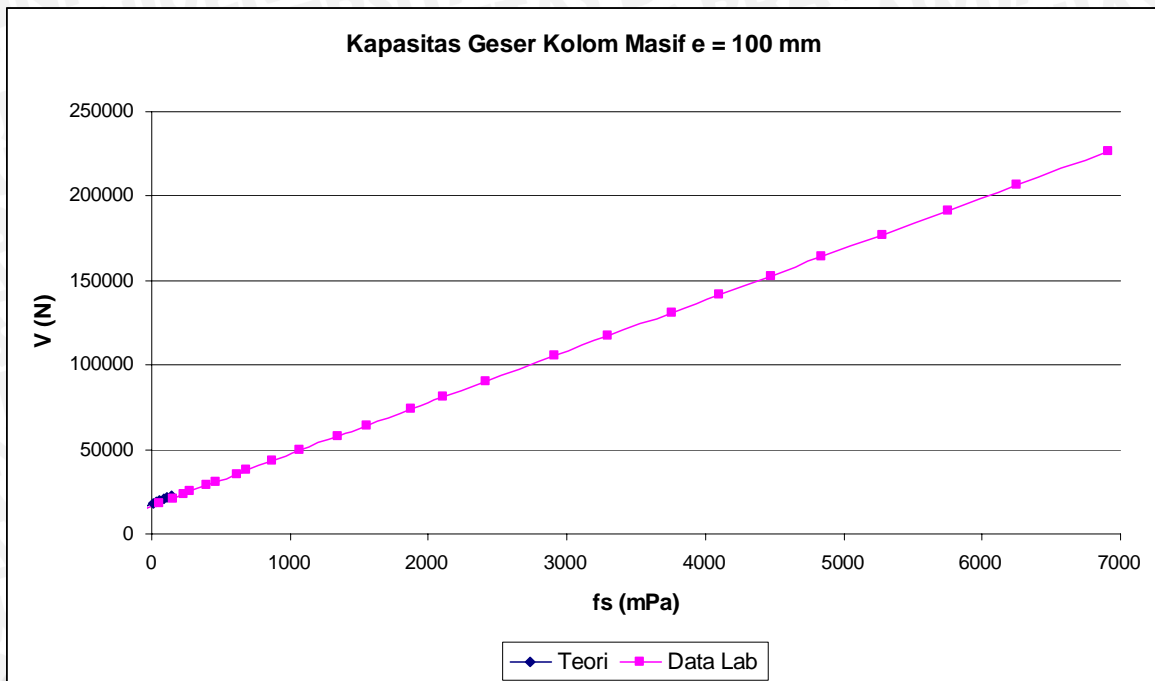
Strain gauge tidak terpasang pada kolom masif. Melalui perhitungan analogi lendutan yang terjadi pada kolom masif tidak dapat digunakan karena lendutan yang terjadi besar sehingga nilai  $V_u$  besar akibatnya nilai  $V_s$  besar pula sehingga terjadi “penampang diperbesar”. Kenyataannya tidak terjadi keruntuhan geser sebab salah satu indikatornya adalah terjadi “penampang diperbesar” atau  $V_s \gg V_{s \text{ maks}}$ .

a. Eksentrisitas 80 mm



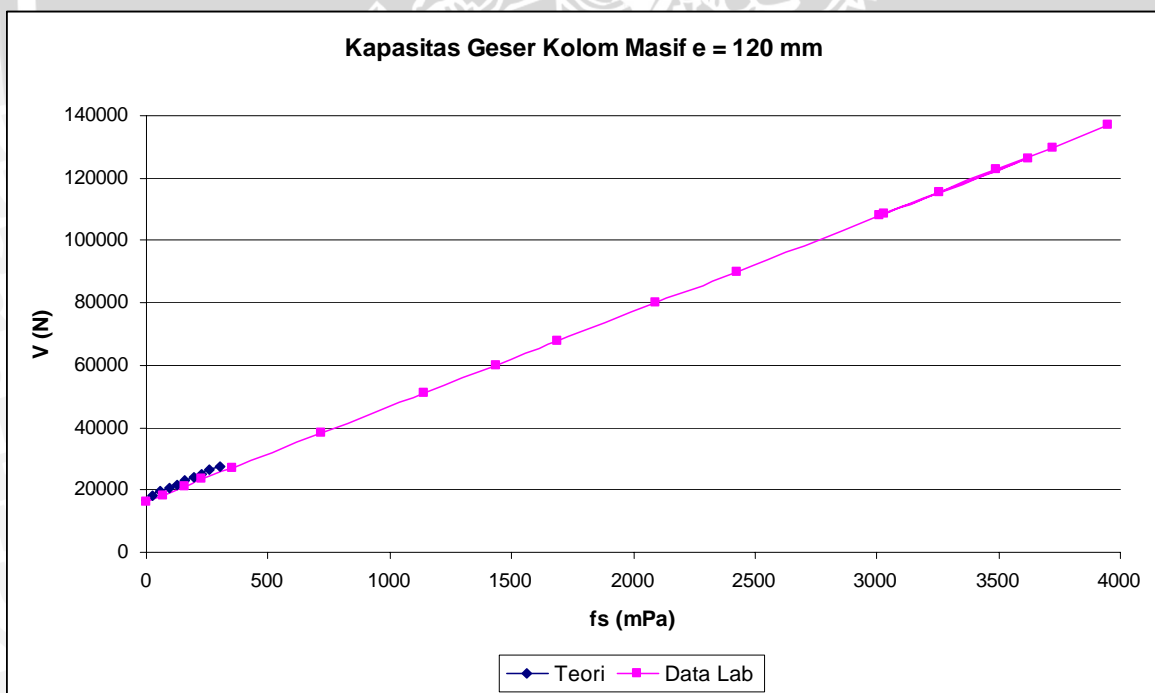
Gambar 4.7. Grafik hubungan fs dan Vn kolom masif e = 80 mm

b. Eksentrisitas 100 mm



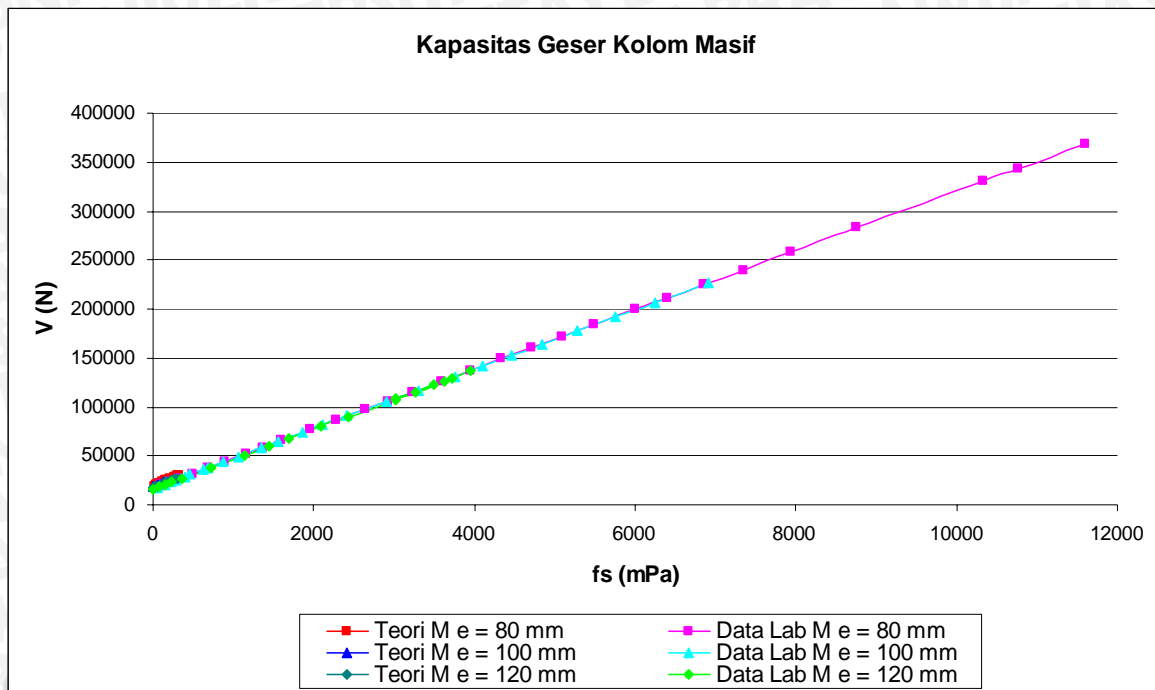
Gambar 4.8. Grafik hubungan fs dan Vn kolom masif e = 100 mm

c. Eksentrisitas 120 mm



Gambar 4.9. Grafik hubungan fs dan Vn kolom masif e = 120 mm

## d. Kapasitas geser kolom masif



Gambar 4.10. Grafik hubungan fs dan Vn kolom lubang

**4.7.5. Nilai eksentrisitas yang signifikan terhadap tegangan baja sengkang**

Dengan adanya variasi jarak eksentrisitas terhadap pembebanan aksial dapat dicari apakah terdapat perbedaan rata-rata antara perlakuan jarak eksentrisitas dan nilai eksentrisitas yang memberikan nilai signifikan terhadap tegangan baja sengkang. Untuk menarik kesimpulan tersebut dilakukan teknik analisis anova satu arah.

Dari uji statistik anova satu arah (lampiran 12) diperoleh nilai  $F_{hitung} < F_{tabel}$ ,  $1,8565 < 3,070$  sehingga  $H_0$  diterima berarti tidak terdapat perbedaan rata-rata antara nilai tegangan baja sengkang antara  $e = 80$  mm,  $e = 100$  mm, dan  $e = 120$  mm. Melalui uji analisis pasca anova pun juga tidak memberikan nilai eksentrisitas yang signifikan terhadap tegangan baja sengkang untuk kolom berlubang.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

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

1. Tipe keruntuhan yang terjadi semuanya adalah keruntuhan tarik terjadi saat beban pada *load cell* tetap (tidak naik) dan lebar retak mempunyai lebar yang besar pada posisi daerah tarik.
2. Berdasar pada pembacaan *strain gauge* untuk kolom berlubang nilai tegangan baja tulangan sengkang adalah belum leleh untuk  $e = 80$  mm,  $e = 100$  mm, dan  $e = 120$  mm.
3. Perkiraan nilai gaya geser yang terjadi melalui salah satu pendekatan analogi lendutan pada saat kondisi keruntuhan tarik kolom berlubang adalah “perlu tulangan sengkang” saat jarak antar sengkang ( $s$ ) = 150 mm ( $s > 0,5 d$ ). Hal ini berarti baja tulangan sengkang sedang bekerja namun belum leleh, dan berkesesuaian dengan munculnya nilai pembacaan *strainmeter* pada baja tulangan sengkang, walaupun regangan ini bukanlah regangan geser baja sengkang yang sebenarnya.
4. Kapasitas geser pada kolom masif tidak dapat diketahui dengan pasti untuk nilai kapasitas baja tulangan sengkang karena pada kolom masif tidak dipasang *strain gauge*, melalui pendekatan lendutan kolom masif tidak dapat dibenarkan karena lendutan yang terjadi besar sehingga terjadi “penampang diperbesar” padahal kenyataannya saat terjadi keruntuhan tarik bukan diakibatkan oleh keruntuhan geser, salah satu indikasi terjadinya adalah tegangan baja sengkang ( $f_s$ ) lebih besar perbedaannya daripada tegangan baja sengkang leleh ( $f_y$ ).
5. Melalui teknik analisis uji statistik anova satu arah memberikan bahwa hipotesis nol ( $H_0$ ) diterima dapat disimpulkan bahwa variasi eksentrisitas tidak memberikan perbedaan rata-rata dan melalui uji statistik pasca anova pun demikian tidak memberikan nilai eksentrisitas yang memberi pengaruh nilai positif terhadap regangan baja sengkang., dan variasi dari eksentrisitas tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas geser.

6. Pada saat kondisi kolom mencapai keruntuhan tarik, besarnya tegangan yang terjadi pada baja sengkang adalah untuk eksentrisitas  $e = 80$  mm nilai tegangan = 19,772 MPa, eksentrisitas  $e = 100$  mm nilai tegangan = 5,643 MPa, eksentrisitas  $e = 120$  mm nilai tegangan = 10,967 MPa. Seharusnya makin besar nilai eksentrisitas nilai tegangan baja sengkang makin kecil, tetapi pada saat  $e = 100$  mm nilai tegangan baja sengkangnya lebih kecil daripada nilai tegangan baja saat  $e = 120$  mm. Hal ini terjadi karena pemasangan *strain gauge* pada  $e = 100$  mm adalah arah memanjang, seharusnya *strain gauge* yang terpasang, pada arah melintang penampang 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. Upayakan agar sisi atas konsol dan sisi bawah kaki pondasi benar-benar siku, agar menghasilkan pembacaan dial gauge yang lebih teliti.
4. Untuk mendapatkan pembacaan regangan geser perlu dipasang *strain rosette* agar mendapatkan regangan geser yang lebih teliti karena *strain rosette* dapat membaca tiga regangan dalam arah tiga sumbu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1989. *Perhitungan Konstruksi Beton Bertulang berdasarkan Pedoman Beton 1989*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Anonim. 1999. *Struktur Beton*. Semarang: Universitas Semarang.
- Anonim. 2000. *Panduan Penulisan Skripsi*. Malang: UPT Penerbitan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Ferguson, M. Phil. 1991. *Dasar-Dasar Beton Bertulang*. Edisi IV. Jakarta: Erlangga.
- Gere, James M. dan Stephen P. Timoshenko. 1996. *Mekanika Bahan*. Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Gere, James M. dan Stephen P. Timoshenko. 1996. *Mekanika Bahan*. Jilid II. Jakarta: Erlangga.
- Gurki, J. Thambah Sembiring. 2003. *Beton Bertulang*. Bandung: Rekayasa Sains.
- McCormac, Jack C. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Jilid I. Edisi V. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar*. Bandung: PT. Eresco.
- Nilson, Arthur H and David Darwin. 1997. *Design of Concrete Structures*. Twelfth edition. Singapore: McGraw-Hill.
- Putra, Dimas Evita Yusita. 2006. "Studi Pengaruh Lubang pada Kolom Beton Bertulang dengan Beban Tekan Eksentris". *Skripsi Tidak Diterbitkan*. Malang: Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2006.
- Saleh, Samsubar. 1996. *Statistik Induktif*. Yogyakarta: UPP AMP YKPN.
- Tata Cara Pengujian Kuat Tarik Baja Beton (*SNI M-104-1990-03*). Bandung: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Studi Perencanaan Institut Teknologi Bandung.
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (*SNI 03-2847-2002*). Bandung: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Studi Perencanaan Institut Teknologi Bandung.
- Wahyudi L. dan Syahril A. Rahim. 1997. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Usman, Husnaini, MPd dan R. Purnomo Setiady Akbar, S.Pd MPd. *Pengantar Statistika*. 2003. Jakarta: PT. Bumi Aksara.