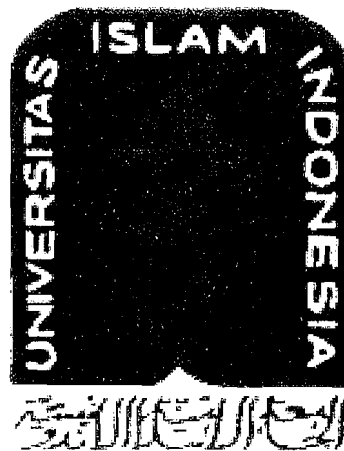


**TUGAS AKHIR**  
**PERILAKU KOLOM KOMPOSIT BAJA BETON**  
**(CONCRETE-FILLED TUBE)**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia**  
**sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil**



---

*Disusun Oleh:*

**WIJAYANTO HANANDOYO**

**98 511 207**

**AGUNG SINGAJAYA CL**

**98 511 221**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**JOGJAKARTA**  
**2004**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**PERILAKU KOLOM KOMPOSIT BAJA BETON  
(CONCRETE-FILLED TUBE)**


**Disusun oleh :**

**WIJAYANTO HANANDOYO**  
98 511 207


**AGUNG SINGAJAYA CL**  
98 511 221

**Telah diperiksa dan disetujui :**

**Ir. TRI FAJAR BUDIONO, MT**  
*Dosen Pembimbing I*

  
Tanggal : 6/5/04

**Ir. H. SUHARYATMO, MT**  
*Dosen Pembimbing II*

  
Tanggal : 6/5/04

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum wr. wb.*

*Alhamdulillah* rabbil 'alamin, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan taufiq serta hidayah-Nya kepada penyusun. Shalawat serta salam selalu kami tujukan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, beserta para sahabat dan keluarganya. Atas berkat dan ridho-Nya penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk jenjang kesarjanaan pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tugas Akhir ini dapat berjalan lancar dan selesai tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, perkenankanlah penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bpk. Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bpk. Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknuik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bpk. Ir. Tri Fajar Budiono, MT, selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bpk. Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bpk Ir. H. A. Kadir Aboe, MS, selaku Dosen Tamu.
6. Mas Haris atas bantuannya di Laboratorium Mekanika Rekayasa.
7. Bapak dan Ibu, kakak serta adik-adikku tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doanya.

8. Semua teman-teman baikku dan semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhirnya besar harapan penyusun semoga laporan ini dapat bermanfaat baik bagi penyusun pribadi maupun bagi para pembaca. Penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan.. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca demi kemajuan dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. sangat penyusun harapkan dimasa yang akan datang.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Jogjakarta, April 2004

Penyusun

## HALAMAN MOTTO

*Dan janganlah kamu mengikuti  
apa yang kamu tidak mempunyai pengetahuan tentangnya.  
Sesungguhnya pendengaran, penglihatan dan hati,  
semuanya itu  
akan diminta pertanggungjawabannya.  
(Al-Israa' :36)*

*Ilmu itu lebih baik dari pada harta.  
Ilmu akan menjagamu, sedangkan harta harus engkau jaga.  
Harta itu akan terkikis habis  
dan penumpuk harta,  
akan lenyap bersamaan dengan habisnya kekayaan.  
(Ali bin Abi Thalib r.a.)*

*Orang lebih banyak belajar  
dari kegagalan dari pada kesuksesan.  
Kegagalan lebih mudah dicapai  
karena mempunyai banyak cara, sedangkan kesuksesan  
lebih sukar dicapai karena hanya punya satu cara.  
(Ulama)*

*Ilmu itu ibarat satu buruan,  
sedangkan tulisan merupakan talinya.  
Maka ikatlah buruanmu dengan tali yang kuat dan kokoh.  
(Imam Syafi'i)*

*Karena  
sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.  
Maka apabila  
kamu telah selesai (dari suatu urusan),  
kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain.  
Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.  
(Qs. Alam Nasyrat 5-8)*

## *PERSEMBAHAN*

*“Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya”*

*Karya kecilku ini kami persembahkan kepada insan-insan yang telah memberi arti dalam hidupku:*

---

*Nabi Muhammad SAW  
atas suri tauladan yang Beliau berikan kepada seluruh umat manusia*

*Ayah dan bunda tercinta yang senantiasa mengasihiku, mendoakanku,  
memberikan yang terbaik untukku  
Dengan bimbingan dan kasih sayangnya telah membuatku bisa tegar  
menghadapi hidup*

*Kakak dan adik-adikku tercinta yang telah banyak  
memberiku arti*

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| <b>Halaman Judul</b>                       |      |
| <b>Lembar pengesahan</b>                   | i    |
| <b>Kata Pengantar</b>                      | ii   |
| <b>Halaman Motto</b>                       | iv   |
| <b>Halaman Persembahan</b>                 | v    |
| <b>Daftar Isi</b>                          | vii  |
| <b>Daftar Tabel</b>                        | x    |
| <b>Daftar Gambar</b>                       | xii  |
| <b>Daftar Notasi</b>                       | xiv  |
| <b>Daftar Lampiran</b>                     | xvi  |
| <b>Abstraksi</b>                           | xvii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                   |      |
| 1.1 Latar Belakang Masalah                 | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah                      | 2    |
| 1.3 Tujuan penelitian                      | 2    |
| 1.4 Manfaat Penelitian                     | 3    |
| 1.5 Batasan Masalah                        | 3    |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>             |      |
| 2.1 Pustaka yang terkait dengan penelitian | 5    |
| 2.2 Penelitian yang pernah dilakukan       | 6    |

### **BAB III LANDASAN TEORI**

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 3.1 Kolom Komposit Baja Beton | 8  |
| 3.2 Kekuatan Dasar Kolom      | 9  |
| 3.3 Modulus Elastis           | 10 |
| 3.4 Panjang Efektif Kolom     | 11 |
| 3.5 Kelangsingan Kolom        | 12 |
| 3.6 Beton                     | 13 |
| 3.6.1 Kuat Desak Beton        | 13 |
| 3.7 Hipotesis                 | 14 |

### **BAB IV METODOLOGI PENELITIAN**

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 4.1 Metode Penelitian             | 15 |
| 4.2 Bahan dan Alat yang digunakan | 15 |
| 4.2.1 Bahan                       | 15 |
| 4.2.2 Peralatan Penelitian        | 16 |
| 4.3. Pembuatan Benda Uji          | 18 |
| 4.4 Pengujian Sampel              | 20 |
| 4.5 Prosedur Penelitian           | 22 |

### **BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN**

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 5.1 Hasil Pengujian                  | 24 |
| 5.1.1 Hasil Uji Pendahuluan          | 24 |
| 5.1.2 Hasil Pengujian Kolom Komposit | 26 |
| 5.2 Pembahasan                       | 38 |
| 5.2.1 Pembahasan Uji Pendahuluan     | 38 |



|   |    |
|---|----|
| 5.2.2 Pembahasan Kolom Komposit   | 40 |
| 5.2.a Beban Kritis  | 40 |
| 5.2.b Tegangan Kritis   | 49 |
| 5.2.3 Perbandingan Per kolom komposit $f'c$ 23.3 MPa<br>dengan $f'c$ 34.2 MPa | 51 |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>  |    |
| 6.1 Kesimpulan  | 58 |
| 6.2 Saran-saran   | 59 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>   |    |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 4.1 Sampel pengujian kolom baja komposit $f'c$ 22.5 MPa | 19 |
| Tabel 4.2 Sampel pengujian kolom baja komposit $f'c$ 30 MPa   | 19 |
| Tabel 5.1 Deformasi kolom K1a                                 | 27 |
| Tabel 5.2 Deformasi kolom K2a                                 | 27 |
| Tabel 5.3 Deformasi kolom K3a                                 | 28 |
| Tabel 5.4 Deformasi kolom K4a                                 | 29 |
| Tabel 5.5 Deformasi kolom K5a                                 | 30 |
| Tabel 5.6 Deformasi kolom K6a                                 | 31 |
| Tabel 5.7 Deformasi kolom K1b                                 | 32 |
| Tabel 5.8 Deformasi kolom K2b                                 | 33 |
| Tabel 5.9 Deformasi kolom K3b                                 | 34 |
| Tabel 5.10 Deformasi kolom K4b                                | 35 |
| Tabel 5.11 Deformasi kolom K5b                                | 36 |
| Tabel 5.12 Deformasi kolom K6b                                | 37 |
| Tabel 5.13 Hasil pengujian tarik baja                         | 38 |
| Tabel 5.14 Hasil pengujian desak beton $f'c$ 22.5 MPa         | 39 |
| Tabel 5.15 Hasil pengujian desak beton $f'c$ 30 MPa           | 40 |
| Tabel 5.16 Beban kritis kolom komposit $f'c$ 23.3 MPa         | 40 |
| Tabel 5.17 Beban kritis kolom komposit $f'c$ 34.2 MPa         | 41 |
| Tabel 5.18 Tegangan kritis kolom komposit $f'c$ 23.3 MPa      | 49 |
| Tabel 5.19 Tegangan kritis kolom komposit $f'c$ 34.2 MPa      | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Tabel 5.20 Tabel rasio Pcr kolom komposit $f'c$ 23.3 MPa dengan $f'c$ 34.2 MPa | 54 |
| Tabel 5.21 Tabel rasio Pcr hasil pengujian dengan Pcr teoritis $f'c$ 23.3 MPa  | 55 |
| Tabel 5.22 Tabel rasio Pcr hasil pengujian dengan Pcr teoritis $f'c$ 34.2 MPa  | 55 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 3.1 Concrete-filled tube                                 | 8  |
| Gambar 3.2 Faktor panjang efektif kolom                         | 12 |
| Gambar 4.1 Silinder beton                                       | 18 |
| Gambar 4.2 Uji tarik baja                                       | 18 |
| Gambar 4.3 Kolom komposit baja beton                            | 20 |
| Gambar 4.4 Gambar pengujian Laboratorium                        | 21 |
| Gambar 5.1 Deformasi Kolom Komposit K1a                         | 42 |
| Gambar 5.2 Deformasi Kolom Komposit K2a                         | 42 |
| Gambar 5.3 Deformasi Kolom Komposit K3a                         | 43 |
| Gambar 5.4 Deformasi Kolom Komposit K4a                         | 43 |
| Gambar 5.5 Deformasi Kolom Komposit K5a                         | 44 |
| Gambar 5.6 Deformasi Kolom Komposit K6a                         | 44 |
| Gambar 5.7 Deformasi Kolom Komposit K1b                         | 45 |
| Gambar 5.8 Deformasi Kolom Komposit K2b                         | 45 |
| Gambar 5.9 Deformasi Kolom Komposit K3b                         | 46 |
| Gambar 5.10 Deformasi Kolom Komposit K4b                        | 46 |
| Gambar 5.11 Deformasi Kolom Komposit K5b                        | 47 |
| Gambar 5.12 Deformasi Kolom Komposit K6b                        | 47 |
| Gambar 5.13 Grafik hubungan $P_{cr}$ dengan fungsi kelangsingan | 48 |
| Gambar 5.14 Grafik hubungan $F_{cr}$ dengan fungsi kelangsingan | 50 |
| Gambar 5.15 Deformasi Kolom Komposit K1a dan K1b                | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 5.16 Deformasi Kolom Komposit K2a dan K2b                       | 52 |
| Gambar 5.17 Deformasi Kolom Komposit K3a dan K3b                       | 52 |
| Gambar 5.18 Deformasi Kolom Komposit K4a dan K4b                       | 53 |
| Gambar 5.19 Deformasi Kolom Komposit K5a dan K5b                       | 53 |
| Gambar 5.20 Deformasi Kolom Komposit K6a dan K6b                       | 54 |
| Gambar 5.21 Grafik rasio Pcr kolom komposit dengan fungsi L/b          | 56 |
| Gambar 5.22 Grafik rasio Pcr kolom komposit dengan fungsi kelangsingan | 56 |

## DAFTAR NOTASI

|          |  |
|----------|--|
| $A$      | = luas penampang lintang                               |
| $A_c$    | = luas penampang beton                                 |
| $A_s$    | = luas penampang tabung baja                           |
| $b$      | = lebar permukaan tabung baja                          |
| $b_1$    | = lebar permukaan beton                                |
| $c_2$    | = koefisien untuk pipa dan tabung baja komposit = 0.35 |
| $c_3$    | = koefisien untuk pipa dan tabung baja komposit = 0.4  |
| $E$      | = modulus elastisitas baja = 29,000 ksi                |
| $E_c$    | = modulus elastisitas beton                            |
| $E_m$    | = modulus elastisitas modifikasi baja komposit         |
| $f_{cr}$ | = tegangan kritis pada kondisi tekan                   |
| $f_{my}$ | = tegangan baja komposit pada kondisi tekan            |
| <hr/>    |  |
| $f_y$    | = tegangan leleh baja                                  |
| $f_u$    | = tegangan ultimit                                     |
| $f'_c$   | = kuat tekan beton karakteristik                       |
| $I$      | = momen inersia  |
| $K$      | = faktor panjang efektif kolom                         |
| $l$      | = panjang kolom  |
| $n$      | = modulus rasio elastisitas                            |

- $P_e$  = beban tekuk kritis euler
- $P_{cr}$  = beban tekuk kritis
- $P_n$  = kekuatan nominal batang tekan
- $P_u$  = beban ultimit baja
- $P_y$  = beban leleh baja
- $r_m$  = radius girasi baja komposit
- $t$  = ketebalan baja
- $w$  = berat beton
- $\lambda_c$  = rasio kelangsingan kolom
- $\delta$  = defleksi
- $\phi_c$  = faktor reduksi untuk batang tekan aksial = 0.85
- $\phi_c P_n$  = kuat tekan desain baja komposit

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Lembar Konsultasi Tugas Akhir

Lampiran 2 Hasil Pengujian Material Penyusun Beton

Lampiran 3 Hitungan Perencanaan Beton

Lampiran 4 Hitungan Properti Benda Uji

Lampiran 5 Foto Pelaksanaan Pengujian



## ABSTRAKSI

Kolom komposit baja beton dibuat untuk mendapatkan komponen struktur yang mempunyai kapasitas tekan dan lentur yang besar dan mempunyai perilaku yang lebih baik dibanding kolom baja maupun kolom beton bertulang. Informasi tentang perilaku kolom komposit masih relatif sedikit karena itu perlu penelitian eksperimental tentang kolom komposit baja beton.

Salah satu jenis kolom komposit baja beton yaitu kolom komposit tabung baja beton (*concrete-filled tube*). Kolom komposit tabung baja beton adalah kolom baja yang terbuat dari tabung baja berbentuk bujur sangkar dan diisi dengan beton struktural. Penelitian eksperimental kuat tekan kolom komposit dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan perilaku kolom komposit tabung baja beton pada nilai kelangsingan antara 0.8 sampai dengan 2 dengan mutu beton  $f'_c$  23.3 MPa dan  $f'_c$  34.2 MPa.

Dari penelitian yang dilaksanakan didapatkan beban kritis kolom komposit tabung baja beton berkurang 16.1 % seiring dengan bertambahnya kelangsingan kolom sebesar 0.2. Nilai kekuatan dan kekakuan kolom komposit dengan mutu beton yang tinggi lebih besar dari pada mutu beton yang rendah. Rasio beban kritis akibat perbedaan mutu beton semakin kecil seiring bertambahnya kelangsingan kolom.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan konstruksi di Indonesia sudah diwarnai dengan berbagai peningkatan mutu bahan dan juga mutu bangunan. Peningkatan mutu dan kualitas bangunan konstruksi mutlak harus dipertimbangkan.

Bangunan gedung di Indonesia kebanyakan memakai struktur yang terbuat dari beton bertulang, hal ini karena sifat beton yang sangat mudah pengerjaannya dan harganya yang relatif murah, beton dapat dibuat ditempat (insitu) ataupun dibuat di pabrik (pabrikasi).

Beton memiliki sifat kuat untuk menahan gaya desak dan lemah dalam menahan gaya tarik. Berbagai inovasi dilakukan untuk memperbaiki sifat beton, salah satu diantaranya adalah menggabungkan beton dengan baja struktur, sehingga akan terbentuk material komposit baja beton.

Material komposit baja beton dapat digunakan untuk berbagai struktur, salah satunya adalah sebagai kolom komposit. Kolom yang dibebani gaya tekan aksial akan mengalami perubahan panjang dan juga akan mengalami tekuk.

Salah satu contoh kolom komposit baja beton adalah tabung baja yang diisi dengan beton. Kolom tabung baja yang diisi beton diharapkan mengatasi semua masalah struktur yang terjadi pada kolom seperti misalnya tekuk dan kerusakan yang

timbul karena pengaruh temperatur, terbakar dan lain-lain. Hal ini karena kolom baja komposit memiliki kekakuan yang lebih besar dan tahan terhadap abrasi, kolom baja komposit juga memiliki kekuatan yang lebih besar dan daktilitas yang tinggi.

Kolom komposit tabung baja beton akan menyebabkan beton pengisinya menjadi terkekang hal ini akan menyebabkan bertambahnya kekakuan dari struktur itu. Semakin kaku suatu elemen maka semakin besar pula daya dukungnya terhadap beban. Kuat desak kolom akan semakin meningkat seiring dengan semakin besarnya nilai kekakuan dari kolom tersebut.

Dari uraian berbagai sifat dan karakteristik dari kolom komposit baja beton diatas maka, kami ingin mengetahui lebih jauh tentang perilaku dari kolom komposit baja beton sehingga akan didapatkan sebuah tolak ukur yang tepat tentang karakteristik dari kolom komposit baja beton.

### **1.2 Rumusan masalah**

Kelangsingan dari suatu kolom mempengaruhi nilai kekuatan kolom, semakin langsing suatu kolom maka kolom tersebut akan mudah tertekuk dan rusak. Nilai kelangsingan kolom dipengaruhi oleh panjang kolom, kondisi ujung-ujung kolom dan jari-jari inersia. Jari-jari inersia dipengaruhi momen inersia dan luas tampang. Semakin besar momen inersia akan menyebabkan kekakuan kolom menjadi semakin besar, semakin besar nilai kekakuan kolom maka semakin besar kekuatan kolom. Kolom komposit menghasilkan inersia dan luas tampang lebih besar dibandingkan kolom beton bertulang.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Maksud dan tujuan dari penelitian adalah:

1. Mengetahui hubungan antara beban kritis ( $P_{cr}$ ) kolom komposit tabung baja beton dengan fungsi kelangsingan ( $\lambda_c$ ).
2. Mengetahui hubungan antara tegangan kritis ( $f_{cr}$ ) kolom komposit tabung baja beton dengan fungsi kelangsingan ( $\lambda_c$ ).
3. Membandingkan beban kritis ( $P_{cr}$ ) kolom komposit tabung baja beton mutu beton yang berbeda dengan fungsi kelangsingan dan fungsi  $L/b$ .

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Memberikan kontribusi terhadap perbendaharaan penelitian ilmiah tentang kolom khususnya kolom komposit tabung baja beton.
2. Hasil penelitian dapat digunakan untuk memperkirakan kuat tekan kolom komposit tabung baja beton.
3. Sebagai salah satu upaya mendapatkan kolom yang cukup tahan terhadap tekuk.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah ini dibuat agar masalah yang akan diteliti lebih terarah.

Adapun batasan-batasan tersebut adalah:

1. Dipakai tabung baja dengan ukuran 6 cm x 6 cm, dengan tebal 0.2 cm.
2. Ujung kolom berupa sendi-sendi.
3. Mutu beton  $f'_c$  22.5 MPa dan  $f'_c$  30 MPa
4. Desain campuran beton dengan menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*).
5. Panjang benda uji yaitu: 150 cm, 200 cm, 250 cm, 300 cm , 325 cm dan 350 cm.

6. Pengujian sampel dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari.
7. Penelitian dan perhitungan menggunakan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*)

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pustaka yang terkait dengan penelitian

Kolom adalah struktur yang dibebani beban aksial, kolom komposit adalah salah satu jenis struktur yang mengalami beban aksial, kolom komposit dibentuk dari beton yang diselimuti atau dikekang oleh baja (*Furlong, 1989*).

Rusak tekuk pada kolom komposit baja beton akan terjadi pada saat beban mencapai nilai  $P_{cr}$ , disebut *the euler buckling load* atau disebut beban kritis euler (*Furlong*). Kolom dari beton bertulang baik itu sebagai kolom panjang ataupun sebagai kolom pendek memiliki rasio kelangsingan antara 0 sampai dengan  $(l/r)$  (*Salmon dan Johnson, 1990*).

Kapasitas pikul suatu kolom selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang tekuk, sebanding dengan modulus elastisitas material dan momen inersia penampang. Semakin panjang kolom maka semakin kecil beban yang dapat menyebabkan kolom tersebut tertekuk sebaliknya semakin pendek kolom maka semakin besar beban yang dapat menyebabkan kolom tersebut tertekuk (*Salmon dan Johnson, 1994*).

Panjang kolom sangat berpengaruh terhadap kapasitas dan perilaku kolom, karena nilai kelangsingan merupakan salah satu unsur penting dalam perhitungan kolom. Berdasarkan kelangsingannya kolom dibedakan menjadi 2, yaitu kolom

pendek dan kolom panjang. Kolom dapat dikategorikan berdasarkan panjangnya, kolom pendek adalah jenis kolom yang kegagalannya berupa kegagalan material (ditentukan oleh kekuatan material). Kolom panjang adalah kolom yang kegagalannya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), jadi kegagalannya adalah kegagalan karena ketidakstabilan, bukan karena kekuatannya pada kolom panjang, dimensi dalam arah memanjang jauh lebih besar bila dibandingkan dengan dimensi arah lateral. Karena adanya potensi menekuk pada jenis ini, maka kapasitas pikul bebannya menjadi lebih kecil (*Salmon and Johnson, 1994*).

Kekuatan kolom dipengaruhi oleh faktor tekuk (*buckling*) atau lenturan mendadak akibat ketidakstabilan, hal ini terjadi sebelum kekuatan batang sepenuhnya tercapai (*Salmon and Johnson, 1990*).

Beton mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi tapi kuat tariknya sangat rendah. Pada elemen struktur yang betonnya mengalami tarik diperkuat dengan batang baja tulangan sehingga dibentuk suatu struktur komposit (*Kardiyono, 1990*).

## **2.2 Penelitian yang pernah dilakukan.**

Penelitian tentang kolom komposit baja beton pernah dilakukan oleh *Richard w. Furlong* seorang profesor dari Austin Texas. Dalam penelitian *Furlong* meninjau bagaimana pengaruh panjang efektif kolom komposit baja beton terhadap beban kritis yang mampu ditahan oleh kolom tersebut. Didapatkan suatu hubungan dimana semakin besar nilai *kl* atau dengan kata lain semakin panjang kolom komposit baja beton, besarnya beban kritis yang mampu ditahan oleh kolom komposit baja beton akan semakin kecil.

Penelitian lain yang pernah dilakukan (Kuat Tekan Kolom Komposit Pipa Baja Beton, Helmi Wibowo dan Emilson Padalas, 2003), menyimpulkan bahwa nilai kelangsingan kolom komposit pipa baja beton mempengaruhi beban kritis dan tegangan kritis kolom komposisi pipa baja beton, semakin besar nilai kelangsingan kolom maka beban kritis dan tegangan kritis kolom semakin turun. Rasio perbandingan beban kritis kolom komposit pipa baja beton terhadap kolom pipa baja menghasilkan rasio yang semakin kecil, berarti semakin langsing kolom komposit pipa baja beton maka pengaruh komposit akan semakin kecil.



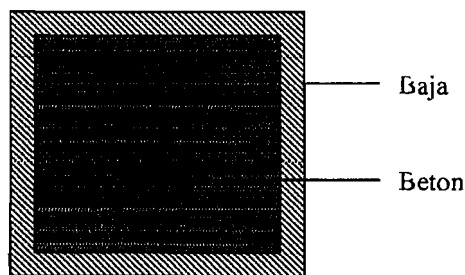
## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Kolom Komposit Baja Beton

Kolom komposit baja beton adalah kolom yang terbentuk dari baja dan beton yang keduanya bekerja bersama-sama untuk menahan gaya tekan aksial.

Salah satu jenis kolom komposit baja beton adalah kolom komposit tabung baja beton (*concrete-filled tube*). Kolom komposit tabung baja beton (*Concrete-filled tube*) adalah komposit dari baja dan beton yang dibentuk dengan cara tabung baja berbentuk bujur sangkar yang diisi dengan beton struktural. Penampang melintang *concrete-filled tube* dapat ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut:



**Gambar 3.1** *Concrete-filled tube*

Kolom tabung baja yang diisi beton akan menyebabkan terjadinya struktur yang *confined*, yaitu beton akan menjadi terkekang. Hal ini berpengaruh terhadap kekakuan kolom. Semakin *rigid* suatu struktur maka struktur tersebut akan semakin

kuat dan stabil. Demikian pula kolom komposit tabung baja beton akan lebih kaku dibandingkan dengan komposit beton bertulang.

Persyaratan yang harus dipenuhi kolom komposit baja beton (AISC-LRFD) adalah sebagai berikut:

1. Luas dari baja ( $A_s$ )  $\geq$  4% dari luas seluruhnya.
2. Kekuatan beton berkisar antara  $20.68 \leq f'_c \leq 55.16$  MPa.
3. Tegangan leleh maksimum baja  $f_y < 379.21$  MPa.
4. Ketebalan dinding minimum ( $t$ ) tabung baja menggunakan rumus:

$$t \geq b \sqrt{\frac{f_y}{3E}}$$

### 3.2 Kekuatan Dasar Kolom

Kolom komposit yang dibebani gaya aksial akan mengalami perpindahan, dianggap bahwa masing-masing material penyusun kolom komposit yaitu baja dan beton mengalami perpindahan ukuran panjang yang sama. Jika semua elemen dari kolom komposit mengalami tegangan yang sama, besarnya beban dapat diturunkan dari penjumlahan gaya yang disebabkan oleh tegangan. Tegangan yang dapat diterima oleh kolom baja komposit dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$f_{my} = f_y + c_2 f'_c \frac{A_c}{A_s} \quad (3.1)$$

Penelitian tentang kolom komposit tabung baja beton yang dilakukan harus memberikan hubungan antara tegangan kritis kolom komposit baja beton dengan fungsi kelangsingan. Hubungan tegangan kritis dengan fungsi kelangsingan dapat dinyatakan dalam persamaan:

- Jika fungsi kelangsingan ( $\lambda_c$ )  $\leq 1.5$

$$f_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) f_{my} \quad (3.2)$$

- Jika fungsi kelangsingan ( $\lambda_c$ )  $> 1.5$

$$f_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) f_{my} \quad (3.3)$$

Beban kritis yang dapat ditahan oleh kolom komposit sangat tergantung dari kekakuan propertis yang dimiliki oleh masing-masing bahan. Semakin kuat dan baik mutu dan kekuatan bahan penyusun dari kolom komposit maka akan semakin meningkatkan kuat tekan dari kolom. Propertis dimensi dari masing-masing material juga memberikan konstribusi terhadap kuat tekan kolom.

Kuat tekan kolom baja komposit merupakan kemampuan baja komposit untuk menahan beban dikali dengan luasan penampang baja, dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\phi_c P_n = \phi_c A_s f_{cr} \quad (3.4)$$

### 3.3 Modulus Elastis ( $E$ )

Kekakuan kolom adalah merupakan hasil perkalian antara modulus elastis material penyusun kolom dengan inersia tampang melintang kolom ( $EI$ ). Pada kolom komposit baja beton kekakuannya dapat ditentukan sebagai modulus kekakuan komposit baja beton ( $E_m$ ). Modulus kekakuan dapat ditentukan dari perelitian (*test*) atau dengan cara yang biasa dilakukan yaitu diperkirakan dari karakteristik tegangan-regangan dari baja dan beton.

Untuk tujuan desain, fungsi tegangan-regangan dapat dipakai untuk analisis dan dapat diturunkan untuk mendapatkan kelengkungan masing-masing material sebagai fungsi regangan.

Nilai modulus elastis dari beton ( $E_c$ ) dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$E_c = w^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad (3.5)$$

Rumus 3.5 dipakai untuk mencari  $E_c$  dalam satuan ksi.

Nilai modulus elastis baja komposit ( $E_m$ ) dinyatakan dengan rumus:

$$E_m = E + c_3 E_c \frac{A_c}{A_s} \quad (3.6)$$

Persamaan (3.6) merupakan persamaan kekakuan kolom komposit baja beton. Kekakuan kolom komposit baja beton merupakan hasil penjumlahan dari kekakuan kolom baja dan kekakuan kolom beton.

### 3.4 Panjang efektif kolom

Panjang efektif adalah jarak antara ujung-ujung sendi dari suatu kolom.

Secara umum panjang efektif kolom dapat dikategorikan menjadi 2 yaitu panjang efektif kolom riil dan panjang efektif kolom ekuivalen. Panjang efektif kolom riil adalah jarak antara ujung-ujung kolom dapat dinyatakan dalam ( $kl$ ). Panjang efektif kolom ekuivalen ditentukan dari jenis pengekangan dari ujung-ujung kolom itu dinyatakan dalam ( $kl_c$ ). Sehingga nilai panjang efektif kolom ekuivalen memiliki harga yang bervariasi tergantung dari jenis pengekangnya.

Nilai  $k$  untuk panjang efektif kolom ditunjukkan pada gambar 3.2 sebagai berikut:

|                            |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Bentuk kolom yang tertekuk |     |     |     |     |     |     |
| Nilai k                    | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 |

**Gambar 3.2** Faktor panjang efektif untuk kolom yang dibebani secara terpusat dengan berbagai kondisi ideal.

### 3.5 Kelangsingan kolom

Kelangsingan kolom didefinisikan sebagai perbandingan panjang kolom dengan jari-jari kelembamannya (*salmon dan johnson*).

Berdasarkan kelangsingan, kolom digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu:

a. Kolom pendek (*stocky column*)

Kolom pendek adalah kolom yang memenuhi kriteria sebagai berikut:

$$(\lambda_c) \leq 1.5$$

b. Kolom langsing (*slender column*)

Kolom langsing adalah kolom yang memenuhi syarat sebagai berikut:

$$(\lambda_c) > 1.5$$

Kolom langsing biasanya mengalami kerusakan karena ketidakstabilannya. Hal ini karena kolom langsing lebih mudah mengalami tekuk yang mengakibatkan kerusakan kolom sebelum material penyusun kolom terlampaui batas elastisnya.

Ukuran fungsi kelangsingan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r_m \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \quad (3.7)$$

### 3.6 Beton

Beton adalah material yang terbentuk dari percampuran semen *portland*, air dan agregat maupun bahan lain sebagai bahan tambah.

Kekuatan, keawetan dan sifat beton sangat tergantung pada sifat-sifat bahan dasar, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama proses pembuatan dan perawatan selama proses pengerasan.

Beton mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi, tetapi kuat tariknya sangat rendah. Kondisi yang demikian yaitu rendahnya kuat tarik, pada elemen struktur yang betonnya mengalami tarik diperkuat dengan batang baja, sehingga terbentuk suatu struktur komposit.

#### 3.6.1 Kuat desak beton

Kuat desak beton adalah kemampuan beton untuk menalar beban dibagi dengan luasan permukaan beton yang menerima beban tersebut. Umumnya sifat beton lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi, umur beton cukup berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Untuk mendapatkan kuat desak dari masing-masing benda uji digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kuat desak} = \frac{P}{A} \quad (3.8a)$$

$$f^c = \text{Kuat desak} \times kb$$

$$f'c_r = \frac{\sum_1^N f'c}{N} \quad (3.8b)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_1^N (f'c - f'c_r)^2}{N-1}} \quad (3.8c)$$

$$m = k x Sd$$

$$f'c = f'c_r - m$$

### 3.7 Hipotesis

Perbedaan angka kelangsingan ( $\lambda_c$ ) pada kolom akan berpengaruh pada kuat tekan kolom, semakin besar nilai kelangsingan ( $\lambda_c$ ) maka kuat tekan kolom akan semakin kecil. Nilai kelangsingan ( $\lambda_c$ ) dipengaruhi oleh nilai kekakuan kolom, semakin besar nilai kekakuan kolom maka semakin kuat kolom tersebut.

## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian adalah urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Metode penelitian ini meliputi bahan dan alat, pembuatan benda uji, pengujian serta prosedur penelitian.

#### **4.2 Bahan dan Alat yang digunakan**

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan dan bahan yang digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun bahan dan alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### **4.2.1 Bahan**

~~Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:~~

a. Tabung baja

Tabung baja dipakai sebagai bagian luar dari kolom komposit tabung baja beton, dipakai tabung baja dengan ukuran 6 cm x 6 cm, tebal 0.2 cm dan dengan panjang yang bervariasi.

b. Beton

Beton dipakai sebagai isi dari kolom komposit tabung baja beton, beton yang dipakai direncanakan dengan  $f'c$  22.5 MPa dan  $f'c$  30 MPa.



#### 4.2.2 Peralatan penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan, yaitu mesin uji kuat tarik, loading frame, hidraulik jack, alat pengukur dan dukungan tempat dial.

a. Mesin uji kuat desak

Mesin uji kuat desak digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder beton, didalam penelitian ini digunakan mesin uji kuat desak merk CONTROL kapasitas 2000 kN.

b. Loading frame

Untuk keperluan penelitian telah dibuat loading frame dari bahan baja profil WF 450 x 9 x 14 mm, bentuk dasar loading frame berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar loading frame tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji.

c. Hidraulik jack

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak kolom komposit baja beton. Kapasitas maksimum 30 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0.25 ton.

d. Dukungan tempat dial

Dukungan ini menggunakan pelat baja, berfungsi untuk menaruh dial-dial pada waktu pengujian.

e. Dial gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0.01 mm.

f. Mesin pengaduk beton

Mesin pengaduk beton (*mixer*) digunakan untuk mengaduk bahan penyusun beton, sehingga diperoleh campuran adukan beton yang homogen.

g. Ayakan

Ayakan digunakan untuk mengetahui gradasi beton.

h. Kerucut Abrams

Alat ini digunakan untuk mengetahui nilai slump dari beton, tinggi 30 cm dengan diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm dilengkapi dengan alat penumbuk besi dengan panjang 60 cm.

i. Kaliper

Kaliper digunakan untuk mengetahui ukuran dari beton yang akan diuji desak dan juga untuk mengetahui ukuran profil baja yang akan diuji tarik.

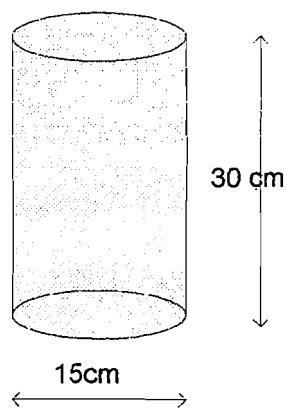
j. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengetahui berat bahan penyusun beton.

### 4.3 Pembuatan Benda Uji

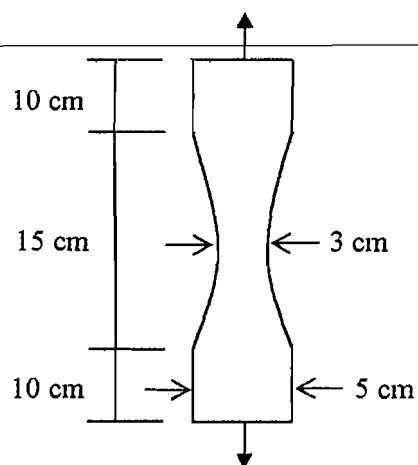
Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian dibuat terlebih dahulu, kemudian diuji dilaboratorium, benda uji tersebut berupa:

- 4 benda uji untuk uji desak beton dengan  $f'c$  22.5 MPa dan  $f'c$  30 MPa, untuk mengetahui kuat desak dari beton yang direncanakan.



**Gambar 4.1** Uji desak beton

- 2 benda uji kuat tarik baja yang diambil profil tabung baja



**Gambar 4.2** Uji tarik baja

- c. Benda uji kolom komposit baja beton, yang tersusun dari tabung baja dan beton dengan  $f'c$  22.5 MPa, variasi benda uji dapat dilihat pada tabel 4.1

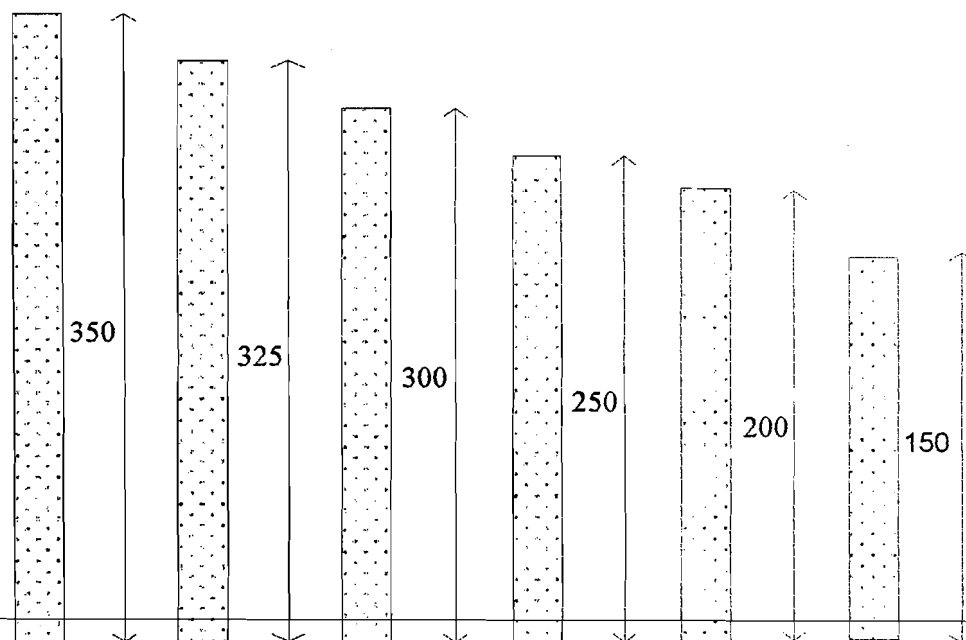
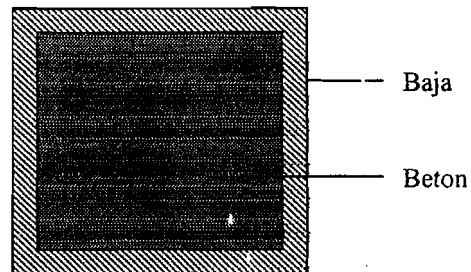
**Tabel 4.1** Tabel sampel pengujian kolom baja komposit  $f'c$  22.5 MPa

| No. | Tipe Kolom | Ukuran Kolom<br>(cm) | Panjang Kolom<br>(cm) |
|-----|------------|----------------------|-----------------------|
| 1   | K1a        | 6 x 6                | 350                   |
| 2   | K2a        | 6 x 6                | 325                   |
| 3   | K3a        | 6 x 6                | 300                   |
| 4   | K4a        | 6 x 6                | 250                   |
| 5   | K5a        | 6 x 6                | 200                   |
| 6   | K6a        | 6 x 6                | 150                   |

- d. Benda uji kolom komposit baja beton, yang tersusun dari tabung baja dan beton dengan  $f'c$  30 MPa, variasi benda uji dapat dilihat pada tabel 4.2

**Tabel 4.2** Tabel sampel pengujian kolom baja komposit  $f'c$  30 MPa

| No. | Tipe Kolom | Ukuran Kolom<br>(cm) | Panjang Kolom<br>(cm) |
|-----|------------|----------------------|-----------------------|
| 1   | K1b        | 6 x 6                | 350                   |
| 2   | K2b        | 6 x 6                | 325                   |
| 3   | K3b        | 6 x 6                | 300                   |
| 4   | K4b        | 6 x 6                | 250                   |
| 5   | K5b        | 6 x 6                | 200                   |
| 6   | K6b        | 6 x 6                | 150                   |



**Gambar 4.3** Benda uji kolom komposit tabung baja beton

#### 4.4 Pengujian Sampel

Tahap-tahap pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini ada dua macam pengujian.

##### 1. Pengujian awal

Pada pengujian awal ini ada dua pengujian, yaitu:

- a. Pengujian kuat desak beton.

Pengujian ini dilakukan setelah umur beton 28 hari, pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kuat desak dari beton, apakah sudah sesuai dengan yang direncanakan.

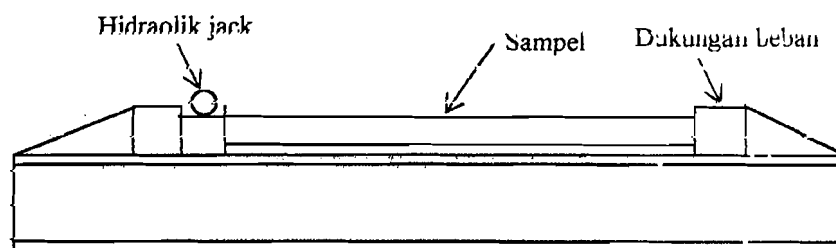
b. Pengujian kuat tarik baja.

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kuat leleh baja ( $f_y$ ), kekuatan ultimit baja ( $f_u$ ) dan kekuatan patah dari baja.

2. Pengujian Sampel

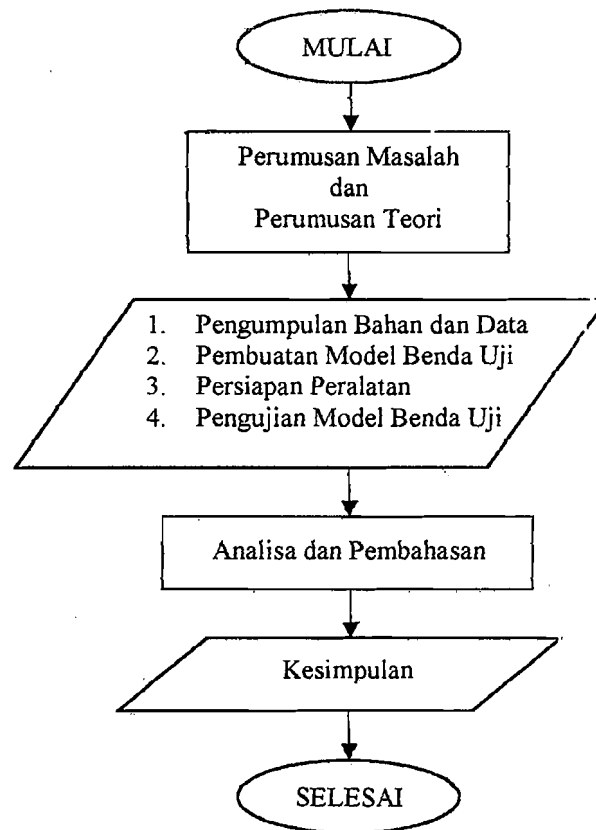
Setelah pengujian awal dilakukan, kemudian pengujian sampel kolom komposit baja beton yang sudah dibuat. Setelah beton yang dimasukkan kedalam tabung baja berumur 28 hari, maka pengujian baru dilaksanakan.

Pengujian sampel dilakukan dengan posisi tidur, dipakai dial sebanyak 6 buah yang dipasang pada arah sumbu x (horisontal) dan arah sumbu y (vertikal) dengan masing-masing titik berjarak  $\frac{1}{4} L$ , Pemasangan dial-dial ini dilakukan karena titik terlemah dari profil belum diketahui. Agar diketahui arah lendutannya maka dipasang dial kearah vertikal dan horisontal.



Gambar 4.4 Pengujian di Laboratorium

#### 4.5 Prosedur Penelitian



Penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Tahap perumusan masalah

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, termasuk perumusan tujuan serta pembatasan masalah.

2. Tahap perumusan teori

Pada tahap ini dilakukan pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian.

3. Tahap pelaksanaan penelitian.

Pelaksanaan dilakukan dilaboratorium struktur jurusan teknik sipil

Universitas Islam Indonesia, yang meliputi:

- a. Pengumpulan bahan dan data
  - b. Pembuatan model benda uji.
  - c. Persiapan peralatan.
  - d. Pengujian model benda uji
4. Analisa dan pembahasan
5. Penarikan kesimpulan.



## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi pendahuluan yang berguna untuk menentukan kekuatan bahan yang dipakai dalam pengujian benda uji yang sebenarnya untuk mengetahui kekuatan komposit baja beton. Hasil-hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom komposit tabung baja beton yang menerima beban sentris.

##### 5.1.1 Hasil Uji Pendahuluan

###### 1. Hasil uji pendahuluan untuk tarik baja.

Hasil uji pendahuluan meliputi dimensi benda uji, beban leleh, beban maksimum atau beban ultimit dan beban pada saat putus. Hasil uji pendahuluan digunakan untuk menentukan tegangan leleh dan tegangan ultimit yang berguna untuk mengetahui perilaku kolom komposit baja beton.

Hasil uji pendahuluan untuk tarik baja adalah sebagai berikut:

###### 1) Benda uji tarik 1

- a. Luas penampang benda uji =  $0.686 \text{ cm}^2$
- b. Beban leleh (Py) = 1685 kg
- c. Beban ultimit (Pu) = 1895 kg
- d. Beban putus = 520 kg

## 2) Benda uji tarik 2

- a. Luas penampang benda uji =  $0.535 \text{ cm}^2$
- b. Beban leleh ( $P_y$ ) = 1590 kg
- c. Beban ultimit ( $P_u$ ) = 1800 kg
- d. Beban putus = 600 kg

## 2. Uji pendahuluan desak beton.

Uji pendahuluan desak beton berupa dimensi uji dan kuat tekan beton karakteristik. Untuk mengetahui tegangan beton ( $f'_c$ ) yang direncanakan dalam penelitian.

Adapun hasil dari pengujian desak beton untuk  $f'_c$  22.5 MPa adalah sebagai berikut:

## 1) Benda uji silinder beton 1

- a. Tinggi silinder beton = 30 cm
- b. Diameter silinder beton = 15.10 cm
- c. Beban maksimum = 41000 kg
- d. Berat benda uji = 12.66 kg

## 2) Benda uji silinder beton 2

- a. Tinggi silinder beton = 30 cm
- b. Diameter silinder beton = 15.03 cm
- c. Beban maksimum = 42000 kg
- d. Berat benda uji = 12.68 kg

Hasil dari pengujian desak beton untuk  $f'c$  30 MPa adalah sebagai berikut:

- 1) Benda uji silinder beton 1
  - a. Tinggi silinder beton = 30 cm
  - b. Diameter silinder beton = 15.02 cm
  - c. Beban maksimum = 61500 kg
  - d. Berat benda uji = 12.63 kg
- 2) Benda uji silinder beton 2
  - a. Tinggi silinder beton = 30 cm
  - b. Diameter silinder beton = 15.05 cm
  - c. Beban maksimum = 60000 kg
  - d. Berat benda uji = 12.60 kg

### 5.1.2 Hasil Pengujian Kolom komposit

Hasil pengujian yang didapatkan berupa beban kritis dan juga deformasi yang terjadi pada kolom komposit baja beton.

Pengukuran lendutan yang terjadi pada kolom dilakukan pada tiga titik yang masing-masing titik berjarak  $\frac{1}{4} L$ . Dial 1 dan dial 4 diletakkan pada jarak  $\frac{1}{4} L$  dari tepi yang langsung menerima beban, dial 1 untuk arah sumbu x sedang dial 4 untuk arah sumbu y. Dial 2 dan dial 5 diletakkan pada jarak  $\frac{2}{4} L$  dari tepi yang langsung menerima beban, dial 2 untuk arah sumbu x dan dial 5 untuk arah sumbu y. Dial 3 dan dial 6 diletakkan pada jarak  $\frac{1}{4} L$  dari tepi tumpuan, dial 3 untuk arah sumbu x sedang dial 6 untuk arah sumbu y. Dial yang digunakan dengan satuan  $10^{-2}$  mm.

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

1) Deformasi kolom komposit (K1a)

$L = 350 \text{ cm}$ ,  $f'_c = 22.5 \text{ MPa}$

**Tabel 5.1** Deformasi kolom K1a

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | 25           | 93     | 44     | -124         | -130   | -135   | 1.598                      |
| 1.4            | 78           | 186    | 80     | -270         | -341   | -296   | 3.884                      |
| 2.1            | 95           | 228    | 214    | -519         | -687   | -574   | 7.238                      |
| 2.8            | 192          | 349    | 318    | -724         | -961   | -809   | 10.224                     |
| 3.5            | 210          | 447    | 394    | -916         | -1235  | -951   | 13.134                     |
| 4.2            | 395          | 540    | 467    | -1052        | -1526  | -1105  | 16.187                     |
| 4.9            | 310          | 760    | 520    | -1277        | -1644  | -1257  | 18.112                     |
| 5.6            | 389          | 885    | 621    | -1389        | -2099  | -1489  | 22.779                     |
| 6.3            | 526          | 1139   | 873    | -1892        | -2935  | -1924  | 31.483                     |
| 5.6            | 923          | 1821   | 1035   | -2307        | -3878  | -2854  | 42.843                     |

2) Deformasi kolom komposit (K2a)

$L = 325 \text{ cm}$ ,  $f'_c = 22.5 \text{ MPa}$

**Tabel 5.2** Deformasi kolom K2a

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | -1           | -65    | -50    | -92          | -131   | -103   | 1.462                      |
| 1.4            | -21          | -100   | -79    | -150         | -246   | -162   | 2.655                      |
| 2.1            | -94          | -196   | -156   | -185         | -399   | -302   | 4.445                      |
| 2.8            | -104         | -287   | -188   | -341         | -492   | -466   | 5.696                      |
| 3.5            | -118         | -341   | -257   | -472         | -654   | -493   | 7.376                      |
| 4.2            | -208         | -468   | -358   | -609         | -851   | -631   | 9.712                      |
| 4.9            | -310         | -676   | -522   | -733         | -928   | -759   | 11.481                     |
| 5.6            | -417         | -805   | -622   | -866         | -1021  | -887   | 13.002                     |
| 6.3            | -503         | -1012  | -882   | -1465        | -1556  | -961   | 18.561                     |
| 7.0            | -758         | -1452  | -1036  | -1243        | -2245  | -1264  | 26.736                     |
| 6.3            | -1199        | -1832  | -2051  | -2422        | -3012  | -2408  | 35.254                     |

## 3) Deformasi kolom komposit (K3a)

$L = 300 \text{ cm}$ ,  $f'_c = 22.5 \text{ MPa}$

Tabel 5.3 Deformasi kolom K3a

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | -88          | -111   | -106   | 8            | 8      | 1      | 1.113                      |
| 1.4            | -201         | -221   | -207   | 28           | 54     | 22     | 2.275                      |
| 2.1            | -339         | -414   | -350   | 104          | 136    | 67     | 4.358                      |
| 2.8            | -500         | -638   | -533   | 185          | 216    | 109    | 6.736                      |
| 3.5            | -616         | -811   | -654   | 231          | 266    | 128    | 8.535                      |
| 4.2            | -771         | -1021  | -823   | 298          | 336    | 158    | 10.749                     |
| 4.9            | -978         | -1201  | -919   | 367          | 402    | 184    | 12.665                     |
| 5.6            | -822         | -1313  | -1005  | 420          | 471    | 212    | 13.949                     |
| 6.3            | -1022        | -1418  | -1109  | 493          | 542    | 234    | 15.181                     |
| 7.0            | -1222        | -1514  | -1217  | 546          | 629    | 248    | 16.395                     |
| 7.7            | -1622        | -1690  | -1429  | 578          | 672    | 265    | 18.187                     |
| 8.4            | -1823        | -1983  | -1829  | 724          | 864    | 419    | 21.630                     |
| 9.1            | -2222        | -2408  | -2429  | 843          | 993    | 483    | 26.047                     |
| 8.4            | -2856        | -3932  | -2532  | 1224         | 1621   | 965    | 42.530                     |

## 4) Deformasi kolom komposit (K4a)

$L = 250 \text{ cm}$ ,  $f'c = 22.5 \text{ MPa}$

Tabel 5.4 Deformasi kolom K4a

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | -23          | -19    | -10    | -8           | -31    | -12    | 0.364                      |
| 1.4            | -32          | -24    | -16    | -18          | -53    | -21    | 0.582                      |
| 2.1            | -61          | -54    | -29    | -39          | -85    | -43    | 1.007                      |
| 2.8            | -75          | -85    | -39    | -58          | -112   | -58    | 1.406                      |
| 3.5            | -89          | -97    | -69    | -90          | -136   | -98    | 1.670                      |
| 4.2            | -97          | -101   | -87    | -104         | -211   | -112   | 2.339                      |
| 4.9            | -109         | -154   | -144   | -139         | -282   | -211   | 3.213                      |
| 5.6            | -122         | -184   | -206   | -198         | -327   | -239   | 3.752                      |
| 6.3            | -132         | -207   | -258   | -221         | -408   | -318   | 4.575                      |
| 7.0            | -179         | -236   | -313   | -261         | -454   | -340   | 5.117                      |
| 7.7            | -215         | -305   | -370   | -296         | -498   | -410   | 5.840                      |
| 8.4            | -272         | -324   | -462   | -412         | -502   | -562   | 5.975                      |
| 9.1            | -314         | -421   | -538   | -498         | -625   | -633   | 7.536                      |
| 9.8            | -380         | -650   | -635   | -604         | -700   | -688   | 9.552                      |
| 10.5           | -490         | -842   | -785   | -764         | -913   | -845   | 12.420                     |
| 11.2           | -735         | -1250  | -1080  | -1090        | -1053  | -1111  | 16.344                     |
| 11.9           | -975         | -1512  | -1320  | -1424        | -1832  | -1271  | 23.754                     |
| 11.2           | -2025        | -2524  | -2110  | -1910        | -2282  | -2254  | 34.027                     |

## 5) Deformasi kolom komposit (K5a)

$$L = 200 \text{ cm}, f'_c = 22.5 \text{ MPa}$$

Tabel 5.5 Deformasi kolom K5a

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | -26          | -20    | -19    | 36           | 43     | 46     | 0.474                      |
| 1.4            | -40          | -35    | -38    | 68           | 76     | 52     | 0.837                      |
| 2.1            | -47          | -43    | -52    | 91           | 112    | 58     | 1.200                      |
| 2.8            | -53          | -60    | -62    | 114          | 165    | 69     | 1.756                      |
| 3.5            | -57          | -81    | -73    | 139          | 198    | 79     | 2.139                      |
| 4.2            | -61          | -105   | -94    | 156          | 224    | 88     | 2.474                      |
| 4.9            | -68          | -127   | -100   | 181          | 258    | 98     | 2.876                      |
| 5.6            | -76          | -141   | -112   | 212          | 296    | 123    | 3.279                      |
| 6.3            | -80          | -165   | -123   | 251          | 345    | 153    | 3.824                      |
| 7.0            | -91          | -187   | -137   | 292          | 384    | 191    | 4.271                      |
| 7.7            | -91          | -194   | -148   | 326          | 433    | 203    | 4.745                      |
| 8.4            | -96          | -224   | -158   | 340          | 476    | 210    | 5.261                      |
| 9.1            | -101         | -243   | -170   | 353          | 504    | 212    | 5.595                      |
| 9.8            | -109         | -266   | -183   | 442          | 545    | 211    | 6.064                      |
| 10.5           | -126         | -300   | -208   | 444          | 611    | 275    | 6.807                      |
| 11.2           | -195         | -433   | -224   | 454          | 638    | 321    | 7.711                      |
| 11.9           | -200         | -560   | -353   | 495          | 666    | 378    | 8.701                      |
| 12.6           | -304         | -692   | -566   | 521          | 743    | 413    | 10.153                     |
| 13.3           | -494         | -740   | -678   | 636          | 880    | 463    | 11.498                     |
| 14.0           | -596         | -956   | -721   | 842          | 963    | 522    | 13.569                     |
| 14.7           | -718         | -1252  | -868   | 989          | 1062   | 601    | 16.418                     |
| 15.4           | -900         | -1452  | -955   | 1032         | 1774   | 824    | 22.925                     |
| 14.7           | -1046        | -1688  | -1132  | 1522         | 2021   | 1064   | 26.332                     |

## 6) Deformasi kolom komposit (K6a)

L = 150 cm,  $f'_c = 22.5$  MPa

Tabel 5.6 Deformasi kolom K6a

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | 10           | 49     | 28     | -13          | -30    | -21    | 0.575                      |
| 1.4            | 25           | 51     | 36     | -18          | -34    | -27    | 0.613                      |
| 2.1            | 25           | 54     | 37     | -24          | -39    | -36    | 0.666                      |
| 2.8            | 25           | 57     | 39     | -29          | -44    | -58    | 0.720                      |
| 3.5            | 25           | 58     | 48     | -36          | -82    | -67    | 1.004                      |
| 4.2            | 25           | 59     | 55     | -44          | -111   | -79    | 1.257                      |
| 4.9            | 25           | 63     | 60     | -53          | -141   | -114   | 1.544                      |
| 5.6            | 25           | 68     | 64     | -85          | -187   | -141   | 1.990                      |
| 6.3            | 25           | 68     | 64     | -96          | -216   | -165   | 2.265                      |
| 7.0            | 25           | 71     | 63     | -109         | -242   | -189   | 2.522                      |
| 7.7            | 25           | 78     | 63     | -117         | -264   | -198   | 2.753                      |
| 8.4            | 25           | 87     | 64     | -124         | -281   | -223   | 2.942                      |
| 9.1            | 27           | 94     | 69     | -140         | -307   | -243   | 3.211                      |
| 9.8            | 27           | 105    | 74     | -154         | -328   | -268   | 3.444                      |
| 10.5           | 52           | 122    | 89     | -175         | -362   | -312   | 3.820                      |
| 11.2           | 95           | 134    | 102    | -209         | -378   | -352   | 4.010                      |
| 11.9           | 104          | 148    | 122    | -287         | -402   | -401   | 4.284                      |
| 12.6           | 112          | 290    | 143    | -379         | -511   | -458   | 5.876                      |
| 13.3           | 167          | 447    | 171    | -412         | -663   | -563   | 7.996                      |
| 14.0           | 200          | 522    | 205    | -492         | -889   | -671   | 10.309                     |
| 14.7           | 312          | 606    | 286    | -627         | -1189  | -862   | 13.345                     |
| 15.4           | 415          | 778    | 378    | -892         | -1503  | -1156  | 16.924                     |
| 16.1           | 596          | 985    | 580    | -1132        | -1831  | -1462  | 20.791                     |
| 15.4           | 784          | 1232   | 721    | -1572        | -2144  | -1757  | 24.728                     |



## 7) Deformasi kolom komposit (K1b)

$$L = 350 \text{ cm, } f'c = 30 \text{ MPa}$$

Tabel 5.7 Deformasi kolom K1b

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | -20          | -82    | -18    | -22          | -73    | -24    | 1.098                      |
| 1.4            | -36          | -99    | -27    | -31          | -131   | -58    | 1.642                      |
| 2.1            | -59          | -121   | -61    | -96          | -272   | -251   | 2.977                      |
| 2.8            | -82          | -174   | -86    | -192         | -354   | -279   | 3.945                      |
| 3.5            | -94          | -201   | -92    | -224         | -497   | -367   | 5.361                      |
| 4.2            | -102         | -261   | -98    | -282         | -698   | -466   | 7.452                      |
| 4.9            | -119         | -477   | -103   | -452         | -751   | -640   | 8.897                      |
| 5.6            | -238         | -480   | -114   | -699         | -839   | -798   | 9.666                      |
| 6.3            | -410         | -782   | -248   | -899         | -1052  | -1098  | 13.108                     |
| 7.0            | -906         | -1112  | -672   | -1136        | -1624  | -1574  | 19.682                     |
| 7.7            | -1325        | -1623  | -987   | -1564        | -2256  | -1928  | 27.791                     |
| 7.0            | -1698        | -2534  | -1456  | -1833        | -3041  | -2026  | 39.584                     |

## 8) Deformasi kolom komposit (K2b)

$$L = 325 \text{ cm, } f'c = 30 \text{ MPa}$$

**Tabel 5.8** Deformasi kolom K2b

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | 9            | 44     | 6      | 24           | 23     | 9      | 0.496                      |
| 1.4            | 14           | 89     | 16     | 44           | 38     | 22     | 0.968                      |
| 2.1            | 20           | 120    | 38     | 52           | 42     | 24     | 1.271                      |
| 2.8            | 102          | 148    | 160    | 59           | 52     | 54     | 1.569                      |
| 3.5            | 200          | 251    | 168    | 62           | 58     | 96     | 2.576                      |
| 4.2            | 221          | 346    | 204    | 73           | 62     | 104    | 3.515                      |
| 4.9            | 335          | 462    | 295    | 87           | 75     | 155    | 4.680                      |
| 5.6            | 422          | 502    | 371    | 103          | 80     | 198    | 5.083                      |
| 6.3            | 606          | 795    | 491    | 187          | 92     | 243    | 8.003                      |
| 7.0            | 801          | 1072   | 671    | 191          | 110    | 286    | 10.776                     |
| 7.7            | 995          | 1397   | 887    | 248          | 331    | 331    | 14.357                     |
| 8.4            | 1619         | 1865   | 1442   | 318          | 714    | 465    | 19.970                     |
| 9.1            | 2901         | 2492   | 1998   | 645          | 1254   | 598    | 27.897                     |
| 8.75           | 3297         | 2890   | 2349   | 959          | 2234   | 625    | 36.528                     |

## 9) Deformasi kolom komposit (K3b)

$$L = 300 \text{ cm}, f'c = 30 \text{ MPa}$$

Tabel 5.9 Deformasi kolom K3b

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | -31          | -46    | -11    | -8           | -42    | -4     | 0.623                      |
| 1.4            | -110         | -110   | -87    | -104         | -212   | -116   | 2.388                      |
| 2.1            | -185         | -216   | -169   | -246         | -361   | -244   | 4.207                      |
| 2.8            | -255         | -300   | -252   | -361         | -392   | -364   | 4.936                      |
| 3.5            | -317         | -402   | -336   | -473         | -483   | -492   | 6.284                      |
| 4.2            | -356         | -496   | -402   | -562         | -615   | -598   | 7.901                      |
| 4.9            | -394         | -598   | -467   | -656         | -625   | -612   | 8.650                      |
| 5.6            | -414         | -609   | -507   | -650         | -642   | -675   | 8.849                      |
| 6.3            | -432         | -690   | -547   | -649         | -857   | -709   | 11.002                     |
| 7.0            | -460         | -712   | -590   | -649         | -857   | -782   | 11.142                     |
| 7.7            | -485         | -790   | -631   | -648         | -1092  | -865   | 13.478                     |
| 8.4            | -505         | -805   | -659   | -647         | -1157  | -905   | 14.095                     |
| 9.1            | -560         | -847   | -721   | -794         | -1424  | -1236  | 16.569                     |
| 9.8            | -597         | -920   | -765   | -1063        | -1923  | -1520  | 21.317                     |
| 10.5           | -679         | -1033  | -826   | -2262        | -2297  | -2207  | 25.186                     |
| 9.8            | -881         | -1235  | -1034  | -2851        | -2802  | -2556  | 30.621                     |

## 10) Deformasi kolom komposit (K4b)

L = 250 cm,  $f_c = 30$  MPa

Tabel 5.10 Deformasi kolom K4b

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | -56          | -9     | -38    | -28          | -3     | 24     | 0.095                      |
| 1.4            | -134         | -45    | -85    | -36          | -6     | 87     | 0.454                      |
| 2.1            | -158         | -104   | -113   | -54          | -15    | 108    | 1.051                      |
| 2.8            | -171         | -114   | -135   | -73          | -34    | 122    | 1.190                      |
| 3.5            | -155         | -126   | -164   | -102         | -45    | 120    | 1.338                      |
| 4.2            | -134         | -126   | -164   | -109         | -55    | 119    | 1.375                      |
| 4.9            | -105         | -121   | -166   | -118         | -89    | 122    | 1.502                      |
| 5.6            | -80          | -125   | -159   | 117          | -121   | -129   | 1.740                      |
| 6.3            | -43          | 70     | -144   | 114          | -184   | -142   | 1.969                      |
| 7.0            | 19           | 98     | -120   | 103          | -221   | -167   | 2.418                      |
| 7.7            | 56           | 124    | -105   | 88           | -241   | -184   | 2.710                      |
| 8.4            | 121          | 171    | -68    | 34           | -275   | -214   | 3.238                      |
| 9.1            | 202          | 203    | -22    | 9            | -280   | -259   | 3.458                      |
| 9.8            | 310          | 311    | 38     | -55          | -326   | -304   | 4.506                      |
| 10.5           | 460          | 495    | 130    | -168         | -341   | -321   | 6.011                      |
| 11.2           | 572          | 686    | 298    | -290         | -404   | -380   | 7.961                      |
| 11.9           | 625          | 878    | 422    | -423         | -832   | -477   | 12.096                     |
| 12.6           | 852          | 1334   | 720    | -622         | -1121  | -621   | 17.425                     |
| 11.9           | 1270         | 1940   | 956    | -854         | -1747  | -944   | 26.107                     |

## 11) Deformasi kolom komposit (K5b)

$$L = 200 \text{ cm}, f'c = 30 \text{ MPa}$$

Tabel 5.11 Deformasi kolom K5b

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | 32           | 38     | 7      | -53          | -32    | -23    | 0.497                      |
| 1.4            | 34           | 41     | 12     | -89          | -71    | -44    | 0.820                      |
| 2.1            | 34           | 41     | 18     | -105         | -113   | -76    | 1.202                      |
| 2.8            | 35           | 42     | 24     | -139         | -152   | -118   | 1.577                      |
| 3.5            | 35           | 38     | 27     | -158         | -186   | -149   | 1.898                      |
| 4.2            | 35           | 34     | 30     | -183         | -219   | -183   | 2.216                      |
| 4.9            | 34           | 28     | 32     | -109         | -253   | -211   | 2.545                      |
| 5.6            | 34           | 23     | 36     | -235         | -301   | -254   | 3.019                      |
| 6.3            | 27           | 14     | 38     | -261         | -396   | -286   | 3.962                      |
| 7.0            | 21           | 4      | 41     | -295         | -456   | -328   | 4.560                      |
| 7.7            | 12           | -2     | 44     | -326         | -487   | -365   | 4.870                      |
| 8.4            | 5            | -14    | 48     | -359         | -498   | -409   | 4.982                      |
| 9.1            | 0            | -23    | 50     | -396         | -536   | -443   | 5.365                      |
| 9.8            | -5           | -30    | 54     | -422         | -578   | -488   | 5.788                      |
| 10.5           | -18          | -42    | 54     | -463         | -609   | -523   | 6.104                      |
| 11.2           | -27          | -58    | 54     | -492         | -687   | -671   | 6.894                      |
| 11.9           | -64          | -92    | 42     | -541         | -753   | -706   | 7.586                      |
| 12.6           | -118         | -122   | 36     | -587         | -801   | -772   | 8.102                      |
| 13.3           | -186         | -145   | 14     | -646         | -855   | -795   | 8.672                      |
| 14.0           | -228         | -244   | -16    | -701         | -958   | -802   | 9.886                      |
| 14.7           | -297         | -332   | -52    | -822         | -1127  | -911   | 11.749                     |
| 15.4           | -399         | -434   | -115   | -994         | -1310  | -1093  | 13.800                     |
| 16.1           | -481         | -517   | -203   | -1187        | -1642  | -1203  | 17.215                     |
| 16.8           | -588         | -620   | -284   | -1344        | -1931  | -1384  | 20.281                     |
| 17.5           | -715         | -828   | -388   | -1492        | -2184  | -1486  | 23.357                     |
| 16.8           | -895         | -1092  | -565   | -1628        | -2393  | -1636  | 26.304                     |

## 12) Deformasi kolom komposit (K6b)

$$L = 150 \text{ cm}, f'c = 30 \text{ MPa}$$

Tabel 5.12 Deformasi kolom K6b

| Beban<br>(ton) | Arah Sumbu X |        |        | Arah Sumbu Y |        |        | Resultan<br>Deformasi (mm) |
|----------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|----------------------------|
|                | Dial 1       | Dial 2 | Dial 3 | Dial 4       | Dial 5 | Dial 6 | Dial 2 & Dial 5            |
| 0              | 0            | 0      | 0      | 0            | 0      | 0      | 0                          |
| 0.7            | -6           | -5     | -3     | -8           | -2     | -15    | 0.054                      |
| 1.4            | -6           | -10    | -9     | -23          | -6     | -22    | 0.117                      |
| 2.1            | -6           | -17    | -14    | -41          | -10    | -34    | 0.197                      |
| 2.8            | -10          | -23    | -18    | -64          | -23    | -64    | 0.325                      |
| 3.5            | -10          | -28    | -24    | -72          | -40    | -81    | 0.488                      |
| 4.2            | -15          | -35    | -35    | -82          | -58    | -98    | 0.677                      |
| 4.9            | -15          | -44    | -46    | -89          | -76    | -116   | 0.878                      |
| 5.6            | -15          | -57    | -60    | -95          | -95    | -135   | 1.108                      |
| 6.3            | -15          | -70    | -74    | -105         | -116   | -159   | 1.355                      |
| 7.0            | -15          | -86    | -89    | -115         | -138   | -182   | 1.626                      |
| 7.7            | -15          | -98    | -95    | -139         | -161   | -202   | 1.885                      |
| 8.4            | -15          | -120   | -108   | -143         | -182   | -221   | 2.180                      |
| 9.1            | -21          | -142   | -121   | -165         | -206   | -236   | 2.502                      |
| 9.8            | -38          | -154   | -132   | -188         | -229   | -254   | 2.760                      |
| 10.5           | -46          | -177   | -148   | -215         | -236   | -270   | 2.950                      |
| 11.2           | -53          | -185   | -164   | -242         | -242   | -291   | 3.046                      |
| 11.9           | -67          | -194   | -180   | -291         | -251   | -313   | 3.172                      |
| 12.6           | -75          | -202   | -197   | -323         | -265   | -337   | 3.332                      |
| 13.3           | -91          | -211   | -219   | -358         | -280   | -362   | 3.506                      |
| 14.0           | -103         | -253   | -244   | -396         | -324   | -392   | 4.111                      |
| 14.7           | -124         | -375   | -327   | -456         | -389   | -429   | 5.403                      |
| 15.4           | -240         | -597   | -400   | -487         | -415   | -466   | 7.271                      |
| 16.1           | -357         | -622   | -521   | -531         | -765   | -510   | 9.860                      |
| 16.8           | -490         | -776   | -636   | -573         | -923   | -554   | 12.059                     |
| 17.5           | -657         | -834   | -764   | -657         | -1231  | -623   | 14.869                     |
| 18.2           | -542         | -1003  | -892   | -865         | -1629  | -965   | 19.130                     |
| 17.5           | -754         | -1365  | -1042  | -1024        | -1954  | -1151  | 23.836                     |

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Pembahasan Uji Pendahuluan

Data yang diperoleh dari uji pendahuluan berguna untuk mendapatkan properti dari baja yang digunakan dalam pengujian. Tegangan leleh ( $f_y$ ) didapatkan dengan cara membagi beban leleh baja ( $P_y$ ) dengan luas penampang baja ( $A$ ). Tegangan ultimit ( $f_u$ ) didapatkan dengan membagi beban maksimum baja ( $P_u$ ) dengan luas penampang baja ( $A$ ).

Hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut:

#### A. Benda uji berupa tarik baja.

##### 1) Benda uji tarik baja 1

- a. Tegangan leleh ( $f_y$ ) = 2456.3 kg/cm<sup>2</sup>
- b. Tegangan ultimit ( $f_u$ ) = 2762.4 kg/cm<sup>2</sup>
- c. Tegangan putus = 758 kg/cm<sup>2</sup>

##### 2) Benda uji tarik baja 2

- a. Tegangan leleh ( $f_y$ ) = 2972 kg/cm<sup>2</sup>
- b. Tegangan ultimit ( $f_u$ ) = 3364.5 kg/cm<sup>2</sup>
- c. Tegangan putus = 1121.5 kg/cm<sup>2</sup>

**Tabel 5.13** Tabel Hasil Pengujian Tarik Baja

|                            | Benda uji 1<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Benda uji 2<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Rata-rata<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Tegangan leleh ( $f_y$ )   | 2456.3                            | 2972                              | 2714.15                         |
| Tegangan ultimit ( $f_u$ ) | 2762.4                            | 3364.5                            | 3063.45                         |
| Tegangan putus             | 758                               | 1121.5                            | 939.75                          |

B. Benda uji berupa desak beton.

1) Untuk beton  $f'c = 22.5$  MPa

a. Benda uji desak beton 1

1. Kuat desak beton =  $229.066 \text{ kg/cm}^2$

2. Berat jenis beton =  $2.358 \text{ t/m}^3$

b. Benda uji desak beton 2

1. Kuat desak beton =  $236.844 \text{ kg/cm}^2$

2. Berat jenis beton =  $2.383 \text{ t/m}^3$

**Tabel 5.14** Tabel Hasil Pengujian Desak Beton

|                                 | Benda uji 1 | Benda uji 2 | Rata-rata |
|---------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| Kuat Desak ( $\text{kg/cm}^2$ ) | 229.066     | 236.844     | 232.955   |
| Berat Jenis ( $\text{t/m}^3$ )  | 2.358       | 2.383       | 2.3705    |

2) Untuk beton  $f'c = 30$  Mpa

a. Benda uji desak beton 1

1. Kuat desak beton =  $347.269 \text{ kg/cm}^2$

2. Berat jenis beton =  $2.377 \text{ t/m}^3$

b. Benda uji desak beton 2

1. Kuat desak beton =  $337.449 \text{ kg/cm}^2$

2. Berat jenis beton =  $2.362 \text{ t/m}^3$



**Tabel 5.15** Tabel Hasil Pengujian Desak Beton

|                                 | Benda uji 1 | Benda uji 2 | Rata-rata |
|---------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| Kuat Desak ( $\text{kg/cm}^2$ ) | 347.269     | 337.449     | 342.359   |
| Berat Jenis ( $\text{t/m}^3$ )  | 2.377       | 2.362       | 2.3695    |

Hasil dari pengujian pendahuluan akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Tegangan leleh baja ( $f_y$ ) =  $2714.15 \text{ kg/cm}^2$
- Kuat desak ( $f'_c$ ): 1) Benda uji I =  $232.955 \text{ kg/cm}^2$   
2) Benda uji II =  $342.359 \text{ kg/cm}^2$

## 5.2.2 Pembahasan kolom komposit

### 5.2.a Beban kritis

Beban kritis ( $P_{cr}$ ) yang terjadi pada masing-masing kolom komposit dan bentuk deformasi kolom pada saat terjadi beban kritis ditentukan berdasarkan hasil pengujian (gambar 5.1 sampai dengan gambar 5.12). Beban kritis ( $P_{cr}$ ) yang terjadi pada masing-masing kolom ditampilkan pada tabel 5.16 dan tabel 5.17.

**Tabel 5.16** Tabel beban kritis kolom komposit  $f'_c$  23.3 MPa

| No | Sampel | KL  | $\lambda_c$ | $P_{cr}$ (ton) |
|----|--------|-----|-------------|----------------|
| 1  | K1a    | 350 | 1.852       | 6.3            |
| 2  | K2a    | 325 | 1.720       | 7.0            |
| 3  | K3a    | 300 | 1.588       | 9.1            |
| 4  | K4a    | 250 | 1.323       | 11.9           |
| 5  | K5a    | 200 | 1.058       | 15.4           |
| 6  | K6a    | 150 | 0.794       | 16.1           |