

## PERANCANGAN ALAT UJI TEKUK SEDERHANA

**Rudi Kurniawan Arief**

rudi.arief@gmail.com

Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

### ABSTRACT

*Efficiency, effectiveness and productivity can be increased by adoption of technology thru understanding physical phenomenon. Buckling is a physical phenomenon that must be avoid in any structures built. In mechanical engineering this buckling test is learned as a laboratorium practice. Bucling test equipment unit is available in the market but with high price, thus we try to design and build a simple yet cheap bucling test unit. The unit consist of Pressure gauge and Dial indicator to get exact value of deflection dan pressure / force given. Some students also involved during this activities.*

**Keywords:** *Buckling test, Mechanical phenomenon test, Collum test, Strip plate test, Material buckling.*

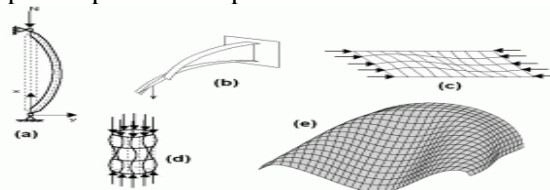
### PENDAHULUAN

Teknologi merupakan salah satu cara /kiat untuk mencapai efektifitas, efisiensi dan produktivitas kerja yang tinggi. Hal ini dapat dicapai melalui pemahaman fenomena alam, untuk memberi manfaat dalam memenuhi kebutuhan manusia, serta mencegah kejadian yang tidak diinginkan. Salah satu fenomena yang harus dicegah pada struktur bangunan adalah fenomena tekuk (*buckling*). Uji tekuk merupakan salah satu modul praktikum fenomena mesin yang diterapkan pada jurusan Teknik Mesin. Untuk melaksanakan praktikum ini dibutuhkan alat uji yang biaya pengadaannya cukup tinggi. Untuk itu penulis melakukan perancangan suatu peralatan sederhana dengan biaya yang cukup ekonomis untuk sebagai upaya untuk melengkapi peralatan uji pada fakultas Teknik Mesin UMSB. Penelitian ini merupakan penelitian bersama mahasiswa guna mengaplikasikan kemampuan mereka baik dalam teoritis perencanaan maupun dalam praktikum manufaktur dalam pembuatan alat ini.

### TINJAUAN PUSTAKA

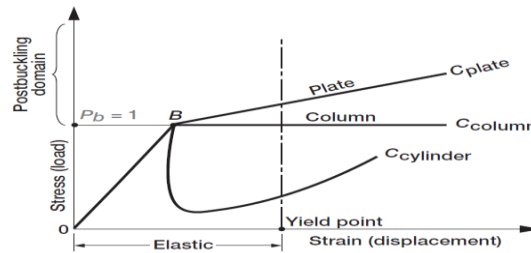
#### 1. Fenomena Tekuk (*Buckling*)

Sebagian besar struktur yang memiliki dimensi langsing atau tipis apabila mendapat gaya tekan akan mengalami masalah tekuk (*buckling*). Tekuk adalah kondisi ketidak stabilan struktur akibat diberi gaya tekan, sedemikian defleksi tidak proporsional dengan perubahan gaya. Konsekuensi fenomena tekuk adalah masalah geometrik dasar, dimana terjadi lendutan besar sehingga akan mengubah bentuk struktur. Fenomena tekuk ini terjadi pada kolom, pelat dan cangkang (*shell*), seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



**Gambar 1.** Fenomena buckling pada struktur : (a)kolom langsing, (b)lateral buckling balok, (c)pelat tipis, (d)cangkang silindris dibebani aksial sumbu, dan (e)cangkang silindris dibebani tegak lurus sumbu.

Surya N, Patnayak. Memperlihatkan perilaku tekuk yang terjadi pada batang tekan (tiang/penyangga) plat dan silinder, pada gambar 2)



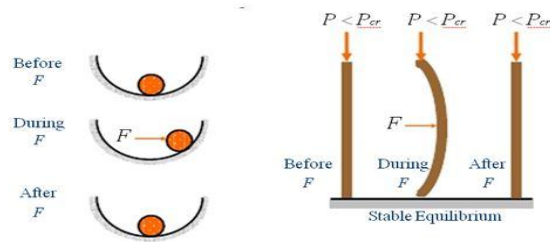
**Gambar 2.** Prilaku tekuk pada struktur

Kapasitas Beban pendukung kolom tidak begitu meningkat setelah terjadi tekuk. Beban yang menekuk kolom disebut juga beban kritis. Kekuatan tekuk bertahan sebagai garis datar ditandai oleh garis horizontal. Kolom tidak begitu punya kekuatan pasca tekuk. Plat menunjukkan (B-C kolom) kekuatan pasca tekuk kecil, ditandai oleh segmen garis linear (B-C Plat) dengan kemiringan positif. Hal ini mungkin terkait dengan kestabilan tarikan lateral yang terinduksi pada daerah pasca tekuk. Silinder memiliki kekuatan pasca tekuk lebih rendah yang tidak linear, ditandai oleh garis (B-C silinder). Sewaktu pengujian silinder sepertinya gagal pada nilai yang lebih kecil dari beban kritis perkiraan. Kita hanya akan membahas tekuk pada kolom sederhana. Titik B pada gambar dicatat dengan tiga nama berbeda:

- Titik Tekuk. Nama ini dipakai karena beban di bawah beban tekuk kolom merupakan garis lurus, atau tidak tertekuk. Pada dan setelah beban ini, bentuk tertekuk teramati. Titik tekuk memisahkan daerah tidak tertekuk dan tertekuk.
- Titik Pemisah. Perilaku struktur berubah nyata di lokasi B, sebab itu “pemisah” namanya. Perilaku segmen OB berbeda dari segmen BC, ( C menjadi C kolom untuk kolom, C Plat untuk plat, atau C silinder untuk silinder ). Pada segmen OB peningkatan perpindahan kecil per kenaikan satuan beban. Segmen ini memiliki kekuatan berubah mendadak pada titik B, antara segmen pra tekuk OB dan pasca tekuk BC plat. Untuk contoh plat, kemiringan adalah ukuran kapasitas beban pada skala kecil. Kolom tidak bisa meningkatkan kekuatannya setelah titik B karena punya kekakuan nol pada segmen BC. Kolom plat dapat membawa beberapa beban lebih (tambahan) di daerah pasca tekuk karena kemiringannya positif di segmen BC Plat, kapasitas beban pendukung silinder berkurang di segmen berikutnya karena kemiringan negatif.
- Titik Kritis. Untuk beban di bawah titik kritis, analisis linear cukup memadai. melampaui titik ini, non-linear mungkin harus dipertimbangkan. Titik B adalah kritis karena ia mendefinisikan daerah linear dan nonlinear. Analisis nonlinear dapat dilinierkan untuk mendapatkan beban tekuk. Beban tekuk juga disebut sebagai beban kritis atau beban pemisah.

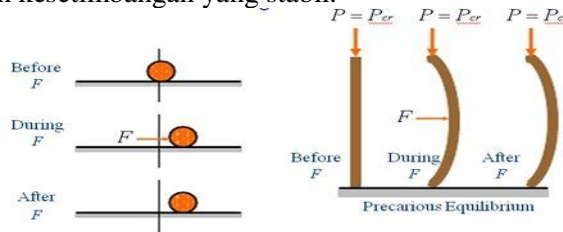
## 2. Mekanisme Buckling

Suatu batang (benda uji) yang dibebani oleh sebuah gaya tertentu sulit sekali menjaga agar resultan gaya tepat berada pada sumbu batang. Selain bahayanya tidak homogen disepanjang batang juga kemungkinan pembagian muatan yang terbagi rata sangat kecil. Oleh karena itu pada batang selain timbul tegangan tekanan juga terjadi lengkungan. Pada batang yang lebih panjang kemungkinan terjadinya tekukan semakin besar, dengan kata lain apabila perbandingan antara panjang dan luas penampang batang semakin besar, kemudian tekukannya semakin besar. Pengujian tekuk dilakukan dengan melakukan pembebanan terhadap suatu benda oleh sebuah gaya terhadap suatu benda oleh suatu gaya pada kondisi benda vertikal dimana pada ujung (atas - bawah) ditumpu oleh sebuah mekanisme tumpuan. Pada pelaksanaannya pada pengujian tekuk terhadap 4 macam type tumpuan yang dikenal pada kolom elastis yang mendapat gaya tekan aksial, yaitu :



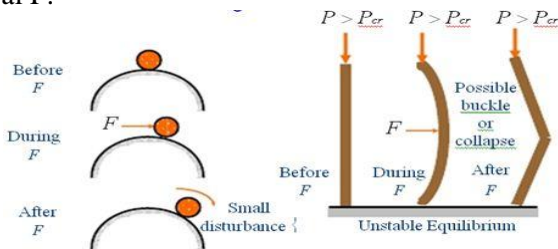
**Gambar 3.** batang akan kembali lurus dan bola akan kembali ditengah wadah

Dalam gambar 3 bola dan wadah melengkung, gravitasi cenderung untuk memulihkan bola ke posisi semula, sementara untuk batang sendiri bertindak sebagai memulihkan kekuatan. Tindakan ini merupakan kesetimbangan yang stabil.



**Gambar 4.** batang tidak kembali lurus

Dalam gambar 6, bola dan permukaan datar, banyaknya defleksi akan tergantung pada besarnya kekuatan lateral F.



**ambar 5.** batang yang diberi gaya melengkung lalu gagal

Jenis perilaku menunjukkan bahwa untuk aksial beban yang lebih besar dari pada  $P_{cr}$ , satu kesetimbangan tidak stabil bahwa gangguan kecil akan cenderung tumbuh menjadi deformasi berlebihan sehingga akan gagal (Sebayang Darwin. 1989).

**3. Kolom**

Kolom adalah suatu batang struktur langsing (*slender*) berupa tiang penyanggayang dikenai oleh beban aksial tekan (*compres*) pada ujung-ujungnya. Kolom yang ideal memiliki sifat elastis yaitu suatu usaha perubahan struktur kembali seperti semula atau bentuk aslinya, lurus dan sempurna jika diberi beban secara konsentris (Popov.E.P.1983).

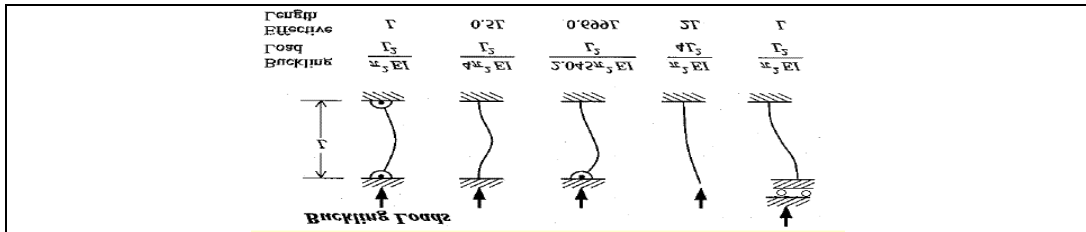
Sebuah kolom adalah sebuah batang tekan yang sangat tipis dibandingkan dengan panjangnya dan rusak tekukan bila beban bertambah secara perlahan dengan beban lebih kecil dari beban yang dibutuhkan, agar batang rusak akibat pecahan. Suatu kolom apabila dibebani secara eksentris, lendutan netral dapat diabaikan (Popov,E.P.1983).

Kolom dibagi menjadi dua tipe yaitu:

- Kolom pendek: tipe kolom yang kegagalannya berupa kegagalan material (ditentukan oleh kekuatan material), elemen struktur kolom yang mempunyai nilai perbandingan antara panjang dengan dimensi penampang melintang relatif kecil.
- Kolom panjang: tipe kolom yang kegagalannya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), jadi kegagalan karena ketidaksetabilan (*instability*), dimensi ara memanjang jauh lebih besar dibandingkan demensi arah lateral (Ferdinand L.1985).

**4. Rumus Euler Untuk Kolom**

Leonhardt Euler (1759) batang dengan beban konsentris yang semula lurus dan seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi akan mengalami lengkungan yang kecil. Kolom masih bisa memikul beban aksial yang lebih besar walaupun telah melentur, tetapi kolom mulai melentur pada saat mencapai beban yang disebut beban tekuk (Shanley. 1946).



Gambar 6. Teori euler

Perilaku struktur kolom yang ideal ketika diberi beban secara aksial ada tiga yaitu :

- Jika  $P < P_{cr}$ , maka struktur kolom dalam keadaan stabil dan setimbang dengan posisi tegak lurus.
- Jika  $P = P_{cr}$ , maka struktur kolom berada dalam kondisi netral ekuilibrium baik dalam posisi tegak atau sedikit membengkok.
- Jika  $P > P_{cr}$ , maka struktur kolom berada dalam kondisi ekuilibrium yang tidak stabil pada keadaan tegak dan karena itu terjadi gagal atau roboh.

Pada ujung beban kritis, kolom yang mempunyai penampang konstan dapat menekuk pada setiap arah. Dalam keadaan yang lebih batang tekan tidak mempunyai kekakuan lentur yang sama untuk segala arah. Adapun besaran gaya kritis ( $P_{cr}$ ) secara teoritis diperoleh dari rumus euler, yaitu:

Untuk tumpuan jepit - jepit ;

$$P_{cr} = \frac{4\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Untuk tumpuan engsel - jepit ;

$$P_{cr} = \frac{2,05\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Untuk tumpuan engsel - engsel

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Dimana:

- $P_{cr}$  : Gaya tekan Kritis / tekuk (Kg)
- $E$  : Modulus Elastisitas bahan :  $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- $L$  : Panjang Kolom (benda uji) (cm)
- $I$  : Momen Inersia ( $\text{cm}^4$ )

Untuk penampang lingkaran

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot D^4 \dots \dots \text{cm}^4$$

Untuk penampang persegi

$$I = bh^3 / 12$$

$D$  = Diameter Benda Uji

Sedangkan luas penampang kolom penampang juga dapat dicari dengan:

Untuk penampang persegi

$$A = b \cdot h$$

Untuk penampang lingkaran

$$A = \pi/4(D^2)$$

## 5. Rasio Kelangsingan Kolom

Rasio kelangsingan kolom (*slenderness*) adalah rasio panjang kolom terhadap jari-jari girasi minimum dari penampang. Rasio kelangsingan ini tidak memiliki dimensi dan dihitung menggunakan  $(L/r)$  dimana  $r = \sqrt{I/A}$ .

Dimana:  $r$  = jari-jari girasi,  
 $I$  = momen area minimum  
 $A$  = luas penampang (Popov.E.P.1983).

## 6. Tegangan Kritis Pada Kolom

Tegangan kritis adalah tegangan rata-rata terhadap luas penampang dari kolom pada beban kritis (Popov.E.P.1983).

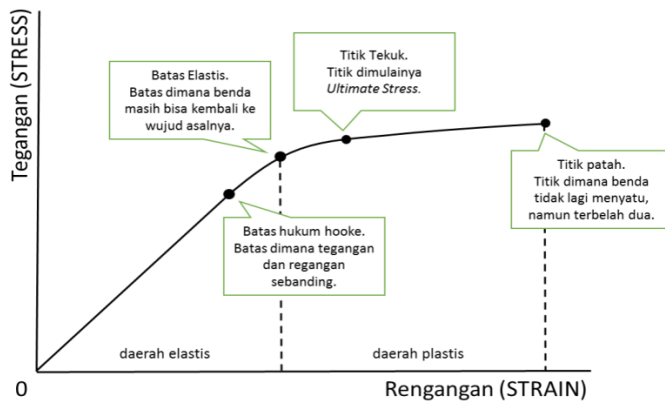
Tegangan kritis pada balok dapat dihitung dengan:

$$\sigma_{cr} = \frac{P}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

## 7. Elastisitas dan Plastisitas

Elastisitas adalah kemampuan benda padat untuk kembali ke wujud asalnya setelah diberi tegangan (stress). Plastisitas adalah ketidakmampuan benda padat untuk kembali ke wujud asalnya setelah diberi tegangan, dalam kata lain, benda tersebut akan berubah bentuk secara permanen.

Elastisitas diakibatkan oleh gaya tarik-menarik atom dalam benda padat yang sangat rapat. Atom-atom itu cenderung selalu ingin terus menempel. Sampai bila telah diberi tegangan yang cukup besar, gaya tarik menariknya akan semakin lemah.



Gambar 7 . Diagram hubungan tegangan- regangan

**Batas Hukum Hooke** adalah batas dimana tegangan dan regangan sebanding (dapat dibuat persamaan dan garisnya berbentuk linier)

**Batas Elastis** adalah batas dimana benda masih bersifat elastis, yaitu dapat kembali ke wujud asalnya. Berkebalikan dengan plastis, yaitu tidak dapat kembali ke wujud asalnya.

**Titik Tekuk** adalah titik dimulainya *Ultimate Stress* yaitu pemberian tegangan yang kecil dapat menyebabkan perubahan panjang yang sangat besar, hal ini dikarenakan gaya tarik antar atom sudah semakin melemah.

**Titik Patah** adalah titik dimana benda sudah tidak bisa mempertahankan kesatuannya sehingga patah menjadi dua bagian. Hal ini diakibatkan sangat lemahnya gaya tarik-menarik antar atom benda, sehingga benda dapat dipisahkan. (Ferdinand L. 1985).

## 8. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah perbandingan dari tegangan dan regangan benda, menghasilkan suatu nilai yang konstan bagi benda-benda sejenis sama. Benda yang sama akan memiliki modulus elastisitas yang sama, walaupun bentuk dan ukurannya berbeda. Modulus Elastisitas dirumuskan dalam:

$$E = \sigma / \epsilon$$

Ket :

E = Modulus Elastisitas (N/m<sup>2</sup> atau Pa)

$\sigma$  = Tegangan (N/m<sup>2</sup> atau Pa)

$\epsilon$  = Regangan (tidak berdimensi)

Banyak bahan (besi baja) menunjukkan elastisitas yang hampir sempurna. Karena tegangan berbanding lurus dengan regangan (hukum Hooke) maka tegangan dibagi regangan adalah modulus elastisitas (E) (Popov.E.P.1983).

Zat	Modulus elastis E (N/m <sup>2</sup> )
Besi	100 × 10 <sup>9</sup>
Baja	200 × 10 <sup>9</sup>
Tembaga	110 × 10 <sup>9</sup>
Perunggu	100 × 10 <sup>9</sup>
Aluminium	70 × 10 <sup>9</sup>
Beton	20 × 10 <sup>9</sup>
Batu bara	14 × 10 <sup>9</sup>
Marmer	50 × 10 <sup>9</sup>
Granit	45 × 10 <sup>9</sup>
Nilon	5 × 10 <sup>9</sup>
Karet	0,5 × 10 <sup>9</sup>

Tabel 1. Modulus elastisitas

## 9. Batang Tekan

Batang tekan (*compression member*) adalah elemen struktur yang mendukung gaya tekan aksial.

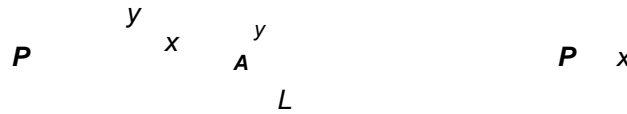
Batang- batang lurus yang mengalami tekanan akibat bekerjanya gaya-gaya aksial dikenal dengan kolom. Kolom- kolom yang pendek ukurannya, kekuatannya ditentukan berdasarkan kekuatan leleh dari bahannya.

Untuk kolom- kolom yang panjang kekataannya ditentukan faktor tekuk elastis yang terjadi, sedangkan untuk kolom-kolom yang ukurannya sedang, kekuatannya ditentukan oleh faktor tekuk elastis yang terjadi. Sebuah kolom yang sempurna yaitu, bebas dari tegangan-tegangan sampingan, dibebani pusatnya serta mempunyai bentuk yang lurus, akan mengalami perpendekan yang seragam akibat terjadinya regangan tekan yang seragam pada penampangnya.

Jika gaya yang bekerja pada kolom ditambah besarnya secara berangsur-angsur, maka akan mengakibatkan kolom mengalami lenturan lateral dan kemudian mengalami keruntuhan akibat terjadinya lenturan tersebut. Namun, bila pembebanan disusun sedemikian rupa sehingga perlawanan rotasional ujung dapat diabaikan ataupun pembebanan siku-siku secara simetrik dari batang-batang yang terangkai pada ujung kolom, dan lenturan dapat diabaikan bila dibandingkan sebagai kolom secara konsentrik.

Dari mekanika bahan dasar diketahui bahwa kolom yang sangat pendek saja yang dapat dibebani sampai ketegangan lelehnya, situasi yang umum, yakni tekukan (*buckling*) atau lenturan tiba-tiba akibat ketidakstabilan, terjadi sebelum tercapainya kekuatan penuh material batang yang bersangkutan.

beban kritis untuk batang ramping panjang yang di-pin dan dibebani dengan tekanan aksial di kedua ujungnya. Garis aksi gaya-gaya melewati pusat penampang melintang batang (Popov.E.P.1983).



**Gambar 8.** Batang tekan

Persamaan diferensial dari kurva defleksi dinyatakan dengan

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M$$

Momen tekuk pada titik A dengan koordinat  $(x,y)$  menghasilkan momen dengan gaya  $P$  dan jarak  $y$ . Sesuai dengan perjamjian pemberian tanda maka momen tersebut adalah negatif. Dengan demikian  $M = -Py$ . Selanjutnya kita akan mempunyai persamaan diferensial

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -Py$$

Seperti diketahui,  $\frac{P}{EI} = k^2$  sehingga persamaan diferensial diatas dapat ditulis

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + k^2 y = 0$$

Dari kenampakan grafis dapat dilihat bahwa karakter tekukan mengandung fungsi  $\sin kx$  atau  $\cos kx$ . Dalam kenyataan, kombinasi keduanya dalam bentuk

$$y = C \sin kx + D \cos kx$$

dapat merupakan solusi dari persamaan diferensial diatas.

Yang diperlukan selanjutnya adalah menentukan nilai  $C$  dan  $D$ . Pada ujung kiri batang,  $y=0$  ketika  $x=0$ . Dengan mensubstitusikan nilai ini ke persamaan diatas, diperoleh:

$$0 = 0 + D \quad \text{atau} \quad D = 0$$

Pada ujung kanan batang,  $y=0$  ketika  $x=L$ , sehingga

$$0 = C \sin kL$$

Kenyataannya baik  $C = 0$  atau  $\sin kL = 0$ . Tetapi jika  $C = 0$  maka nilai  $y$  dimanapun akan sama dengan nol; dan kita tidak memerlukan ini. Maka kita pakai

$$\sin kL = 0$$

Untuk menjadi benar, kita harus punya  $kL = n\pi$  radian ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

Dengan substitusi  $k^2 = P/EI$ , diperoleh

$$\sqrt{\frac{P}{EI}} L = n\pi \quad \text{atau} \quad P = \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2}$$

Nilai terkecil dari persamaan tersebut terjadi jika  $n = 1$ . Maka kita memperoleh apa yang sering disebut mode pertama tekukan dimana beban kritis dapat dinyatakan dengan

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Persamaan ini juga sering disebut sebagai *Beban Tekuk Euler* untuk kolom yang di-pin di kedua ujungnya.

Defleksinya dapat dinyatakan dengan

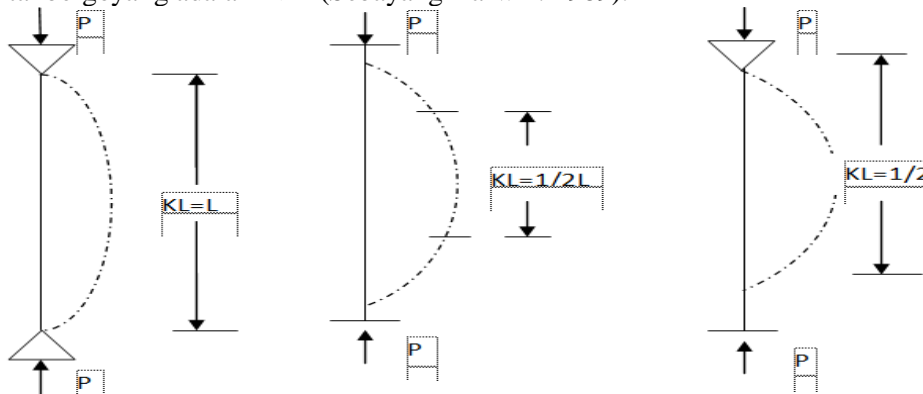
$$y = C \sin\left(\sqrt{\frac{P}{EI}}x\right) \text{ atau } y = C \sin \frac{\pi x}{L}$$

**10. Panjang Efektif**

Kekuatan kolom mengasumsikan sendi dimana tidak ada kekangan rotasional momen. Kekangan momen nol pada ujung merupakan situasi paling lemah untuk batang tekan yang salah-satunya ujungnya tidak dapat bergerak transversal relative terhadap ujung yang lainnya. Untuk kolom berujung sendi semacam ini, panjang ekivalen ujung sendi KL merupakan panjang L sebenarnya, dengan demikian k = 1,0 seperti gambar 6. panjang L ekivalen berujung sendi disebut panjang efektif.

Panjang efektif batang kolom pada suatu portal, bergantung pada jenis portal yang ditinjau, yaitu portal bergoyang dan portal tidak bergoyang. Portal tak bergoyang (yang disokong) adalah portal yang kestabilan lateralnya diberikan oleh penyambung yang memadai ke penopang diagonal kedinding geser, kestruktur didekatnya yang memiliki stabilitas lateralnya yang memadai, atau ke plat lantai atau penutup atap diikat secara horizontal terhadap dinding atau dengan system penopang yang sejajar dengan bidang portal, atau dengan ka lain portal tak bergoyang didefinisikan sebagai portal yang tekuk bergoyangnya dicegah oleh elemen penopang yang tidak termasuk rangka struktural itu sendiri. Faktor K untuk portal bergoyang adalah 0<K<1.

Sedangkan portal bergoyang (yang tidak disokong) adalah portal yang kestabilan lateralnya bergantung pada kekakuan lentur balok dan kolom yang disambung secara kaku. Faktor K untuk portal bergoyang adalah K>1 (Sebayang Darwin. 1989).



**Gambar 9.** Panjang efektifitas kolom ideal

Jenis perletakan	Harga K Teoritis	Harga K yang Disarankan
Jepit- jepit	0.5	0.65
Jepit- sendi	0.7	0.80
Sendi-send	1.0	1.0

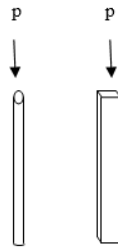
**Tabel 2.** Faktor panjang efektif kolom dengan berbagai kondisiperletakanTeori Dasar Lentur tekuk.



## PERANCANGAN ALAT UJI

### 1. Perencanaan Benda Uji

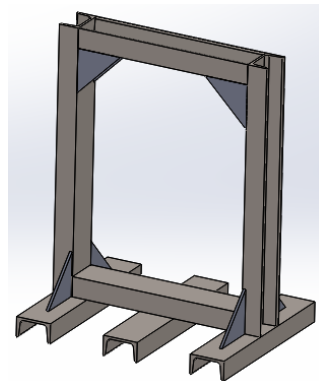
Benda uji yang direncanakan adalah kolom persegi dan kolom silinder, agar bisa membandingkan berapa besar beban kritis, tegangan, dan defleksi dari masing-masing benda uji. Kekuatan benda uji menerima beban kritis ditentukan dari modulus elistisitas dan luas penampang dari spesimen tersebut



Gambar 11. Spesimen benda uji

### 2. Desain Rangka

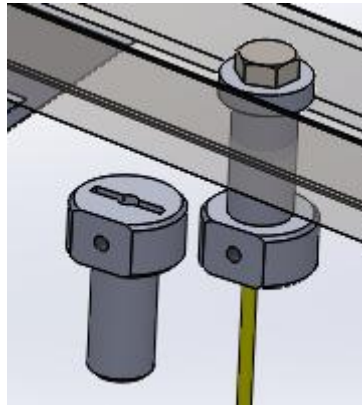
Rangka (*frame*) merupakan suatu struktur tempat duduknya semua komponen-komponen pengujian yang terdiri atas alat tekan (dongkrak), penjepit, tiang pengarah, alat ukur dan benda uji. *Frame* berfungsi sebagai tempat penahan sekaligus sebagai dudukan benda uji. *Frame* yang tersedia adalah untuk pengujian kolom besar dengan perletakan sendi bebas. Sebelum dimodifikasi perlu dibuatkan modelnya untuk melihat letak dan bentuk perubahan yang diperlukan. Material yang digunakan dalam pembuatan rangka ada besi struktur dengan profil UNP 80x45x5mm.



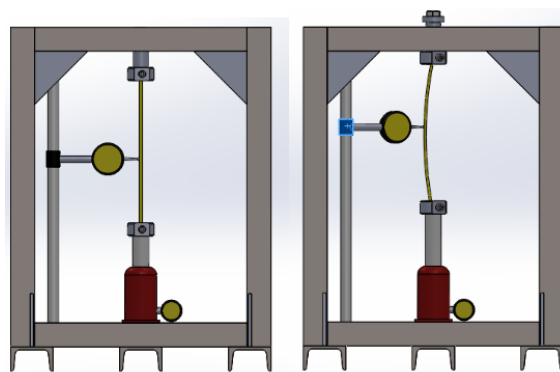
Gambar 12. Disain rangka

### 3. Disain Tumpuan jepit-jepit

- Pasak pada pengujian *buckling* sangat dibutuhkan untuk menentukan beban kritis pada spesimen, dengan cara memasang di kedua ujung spesimen sesuai dari bentuk spesimen sebagai tumpuan saat melakukan pengukuran beban kritis. Besi yang digunakan dalam pembuatan pasak jepit-jepit adalah besi shaft SS40. Tumpuan dibuat sedemikian rupa agar bisa digunakan untuk spesimen yang berupa shaft maupun plat tanpa harus mengganti tumpuan. Tumpuan juga berfungsi sebagai pengarah pada saat spesimen ditekan ke atas sehingga pergerakan tetap lurus.
- *Dial indikator* berada pada *guide bar* sehingga bisa bergerak turun – naik untuk melakukan pengecekan besar tekukan, diletakkan sedemikian rupa ditengah bentang benda uji.



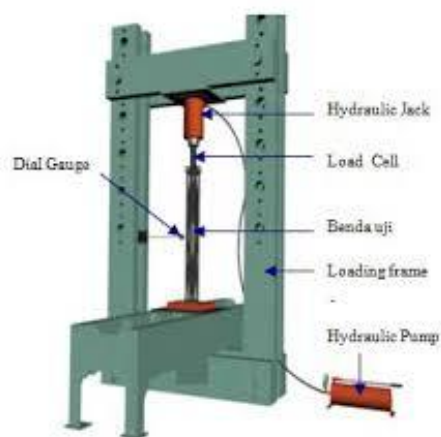
Gambar 13. Pasak jepit-jepit



Gambar 14. Posisi sebelum dan saat proses

#### 4. Alat uji *ColumnBuckling* Yang Sudah Ada

Alat uji buckling yang akan dibuat mengacu kepada bentuk, cara kerja, dan komponen alat uji yang sudah ada sehingga dapat mempermudah proses modifikasi, apakah di perkecil, diprebesar, menambah atau mengurangi komponen yang ada, sesuai dengan kebutuhan dan dana yang dimiliki.

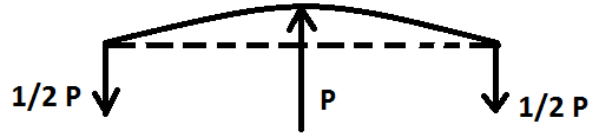


Gambar 15. Alat uji buckling.

### 5. Analisa perhitungan rangka

Analisa perhitungan rangka alat uji tekuk kolom (*column buckling*) digunakan untuk menentukan berapa besar ketahanan rangka pada saat alat diuji.

- Defleksi balok penumpu dari tabel 11 (*appendis, poppov*)



$$\begin{aligned}\delta &= \frac{P \cdot b \cdot x}{6 \cdot E \cdot I \cdot L} \cdot (L^2 - b^2 - x^2) \\ &= \frac{P \cdot L / 4}{6 \cdot E \cdot I \cdot L} \cdot (L^2 - (L/2)^2 - (L/2)^2) \\ &= \frac{P}{24 \cdot E \cdot I} \cdot (L^2 / 2) \\ &= \frac{P \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I} \cdot g\end{aligned}$$

Dik:

$$E = 170 \text{ Gpa} = 170 \cdot 10^9 \text{ N/cm}^2$$

$$I_y = 19.4 \text{ cm}^4$$

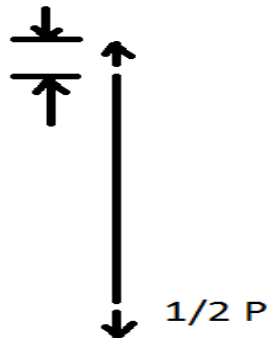
$$G = 9.81 \text{ cm/dt}^2 \cdot 100 = 981$$

Jawab :

$$\begin{aligned}&= \frac{2000 \cdot (40)^2 \cdot 981}{48 \cdot 170 \times 10^9 \cdot 19.4} \\ &= \mathbf{0.198 \times 10^4 \text{ cm}}\end{aligned}$$

jadi, konstruksi aman digunakan dengan beban maksimal 2 ton.

- Kekuatan tiang dan defleksi tiang



$$\begin{aligned}\delta &= \frac{P \cdot L}{A \cdot E} = \frac{1000 \cdot 50}{11.2 \times 170 \cdot 10^9} \\ &= \mathbf{25.95 \times 10^{-5} \text{ cm}}\end{aligned}$$

$$\tau = P/A = 1000 / 11.2 = \mathbf{89.3 \text{ Kg/cm}^2}$$

Jadi, kekuatan pada setiap tiang sangat aman untuk menahan beban 1 ton.

### 6. Modifikasi Dongkrak Dengan *Pressure Gauge*

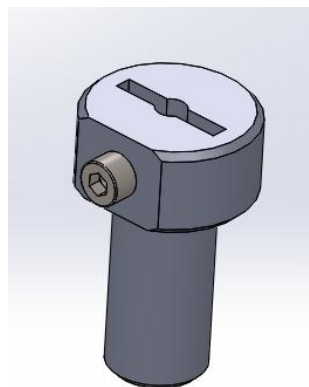
Dongkrak yang digunakan adalah dongkrak botol dengan kapasitas beban yang diterima 2 ton. *Bottle jack* atau dongkrak botol dimodifikasi dengan menambah komponen alat ukur *pressure gauge* untuk mengetahui berapa besar beban yang diberikan oleh dongkrak pada saat pengujian dilakukan. Pressure gauge yang dipasang pada dongkrak berjenis oil (minyak) dengan kapasitas  $600 \text{ kg/cm}^2$ . Pressure gauge dipasang pada dongkrak dengan bantuan mesin bor dan tap.



Gambar 16. Dongkrak dengan pressure gauge

#### 7. Pembuatan Tumpuan Jepit-Jepit

Tumpuan jepit-jepit pada alat *column buckling* berfungsi sebagai tumpuan pada benda uji saat pengujian dilakukan. Tumpuan pada alat uji *column buckling* ada tiga jenis yaitu jepit-jepit, sendi-sendi, jepit-sendi. Tumpuan dipasang pada setiap ujung benda uji, tujuannya untuk melihat seperti apa defleksi yang dihasilkan apabila salah satu tumpuan dipasang pada benda uji. spesimen yang akan dipasangkan pada tumpuan yaitu bentuk silinder pejal (shaft) dan plat. Jepit ini bersifat knock down sehingga mudah untuk dibongkar pasang jika diperlukan penggantian.



. Gambar 17. Tumpuan jepit



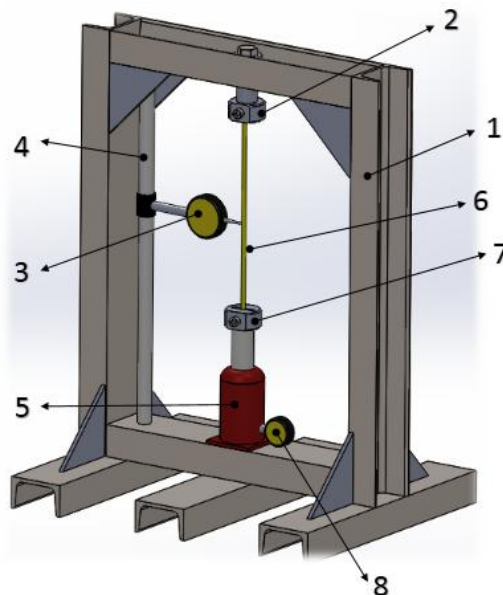
**Gambar 18.** Spesimen benda uji

### 8. Spesifikasi alat uji dan prosedur pengujian

#### 9. Spesifikasi alat uji dan benda uji

- Benda uji : ST 37
- *Frame* : Besi UNP 80
- Dongkrak : *hidraulik jack* 2 ton
- Rangka : besi profil UNP 80
- *Pressure gauge* :
  - *Type* : manometer *gauge*
  - *Skala* :  $\text{kg/cm}^2$

Komponen-komponen utama dari peralatan pengujian *column buckling* adalah sebagai berikut:



**Gambar 19.** Komponen alat uji : 1.*Frame*, 2.*Jepit atas*, 3.*Dial tusuk*, 4.*Tiang pengarah*, 5.*Dongkrak botol*, 6.*Spesimen uji*, 7.*Jepit bawah*, 8.*Pressure gauge*.

### 10. Prosedur Pengujian

Ada dua hal utama yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pengujian tekuk ini yaitu:

- Kolom harus benar-benar lurus, agar garis tengah batang benar-benar lurus, dan beban yang bekerja akan tepat pada garis tengah batang.
- Beban harus tepat pada titik berat penampang kolom.

Posisi kedua kolom ini perlu diperhatikan agar tidak menimbulkan momen akibat adanya eksentrisitas.

Pengujian benda uji dilakukan satu demi satu. Langkah-langkah pengujian :

- Gunakan peralatan keselamatan sebelum mulai pengujian.
- Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penujian.
- Pasang benda uji pada *frame* dengan letak dan posisi yang diatur sedemikian rupa sehingga menghasilkan posisi yang simetris dan tegak lurus, panjang benda uji yang diizinkan < 30 cm, penampang silinder yang diizinkan < 1cm, dan penampang persegi yang diizinkan < 2 x 0,5 cm.
- Untuk memastikan bahwa kolom benar-benar tegak lurus terhadap bidang datar, kolom tersebut diukur dengan waterpass, agar tidak terjadi kesalahan data pada saat pengukuran.
- Ayunkan *handledongkrak* secara perlahan sambil melihat kenaikan indikator.
- Hentikan ayunan *handledongkrak* apabila *dial* pada *pressure gauge* dalam keadaan diam (tidak berubah atau setelah *pressure gauge* menunjukkan angka tertinggi dan kemudian turun kembali).
- Perhatikan skala angka pengukuran yang ditunjukkan oleh *pressure gauge*.
- Catat setiap benda uji yang terukur pada *pressure gauge*.
- Lepaskan benda uji setelah selesai mendapatkan data pengujian dengan memutar klep pengontrol agar hidraulik kembali seperti semula.
- Lakukan pengujian dengan memasang benda uji yang panjangnya sama sebanyak tiga kali untuk mendapatkan rata-rata dari pengujian benda uji tersebut.

## SIMPULAN DAN SARAN

### 1. Simpulan

- Alat uji sanggup menahan beban hingga 2Ton dengan spesimen menggunakan bahan ST37 atau lebih rendah.
- Alat sederhana ini dilengkapi dengan *gauge*, sehingga dapat diketahui berapa besar beban yang akan diberikan pada benda uji.
- *Dial* tusuk yang bisa bergerak turun naik memungkinkan untuk mengetahui perubahan ukuran defleksi secara menyeluruh.

### 2. Saran

- Untuk kepresisian dan uji coba dengan hasil lebih detail alat ini masih bisa dikembangkan dengan penambahan *Load Cell*.
- Agar bisa melakukan percobaan dengan panjang spesimen yang beragam bisa ditambahkan *Guide bar* yang bisa diatur posisi ketinggiannya.
- Perlu ditambahkan semacam *shield* atau *cover* sebagai pelindung dari bahaya jika terjadi kegagalan pencekaman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arthur, P. B. and Richard J. S. (2003) *Advance of Mechanical Engineering*. NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Hibbeler, R.C. (1982) *Mekanika teknik (statika)*. Terjemahan Yaziz Hasan. Edisi Pertama. Prenhalindo, Jakarta
- Popov, E.P. dan terjemahan : Zaenal Astamar (1986) *Mekanika Teknik*, Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga

- [Shanley.F.R.](#), (1946) *"The Teaching of Structural Analysis and Related Subjects: An Authoritative American Opinion of a Subject that is of Current Interest in Great Britain"*, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 18 Iss: 1, pp.15 – 17
- Singer, Ferdinand L. 1985. *Kekuatan Bahan Terapan*. Edisi Ketiga. Erlangga, Jakarta
- [Surya N. Patnaik](#), [Dale A. Hopkins](#). *Strength of Materials: A Unified Theory*. Butterworth-Heinemann, 2004. 750 hal