

# KAJI TEORITIK DAN EKSPERIMENTAL KESTABILAN PADA KOLOM

Meifal Rusli , Mulyadi.Bur, Cinde JAP

## *Abstrak*

*Jika suatu struktur langsing atau yang dikenal dengan kolom yang mengalami beban tekan, di dalam perancangannya dibutuhkan penghitungan kriteria kestabilan. Fenomena ketidakstabilan pada kolom adalah berupa penekukan (buckling), yakni defleksi yang terjadi dalam arah lateral penampang kolom. Jenis tumpuan kolom dan pembebanan turun mempengaruhi besarnya beban kritis, yaitu beban maksimum yang dapat ditanggung oleh kolom agar tidak mengalami buckling.*

*Penelitian ini mencoba mengamati fenomena buckling yang terjadi pada kolom dengan berbagai kondisi pembebanan baik secara teoritik dan ekperimantal. Dari kedua cara tersebut dapat diamati beban kritis dan kurva ketidakstabilan kolom*

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Perubahan geometri suatu struktur mekanik atau komponen struktur pada saat mengalami pembenan tekan dapat mengakibatkan hilangnya kemampuan struktur dalam menahan beban, kondisi ini disebut dengan instabilitas. Pada saat diberi beban tekan, suatu struktur tersebut dapat mengalami kegagalan, walaupun tegangan normal nominal akibat beban tersebut masih jauh dibawah batas-batas tegangan yang diizinkan.

Salah satu contoh instabilitas tersebut dapat terjadi pada struktur kolom. Stabilitas pada kolom ditinjau dari kemampuannya menahan buckling akibat beban tekan dalam arah aksial penampang. Sedangkan beban minimum yang dibutuhkan agar kolom mengalami buckling disebut dengan beban kritis ( $P_{cr}$ ). Oleh karena itu dalam perancangan suatu struktur mekanik, analisis stabilitas terhadap pembebanan tekan menjadi sangat penting, terutama pada struktur langsing atau tipis.

### Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, tim peneliti membatasi permasalahan hanya untuk mengamati perilaku bukling yang terjadi pada batang tipis dengan tumpuan engsel dan batang dengan beban eksentrik. Kaji teoritik kemudian dibandingkan dengan kaji eksperimen. Perlengkapan eksperimen dirancang sedemikian rupa, sehingga terjadinya bukling akibat beban melewati batas kristis pada batang dapat diamati dengan baik

## 2. Tujuan dan Manfaat

### Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Memahami fenomena buckling pada struktur kolom dengan beberapa kondisi pembebanan.
2. Dapat menentukan besarnya beban kritis secara teoritik dan eksperimental pada kolom.

### Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

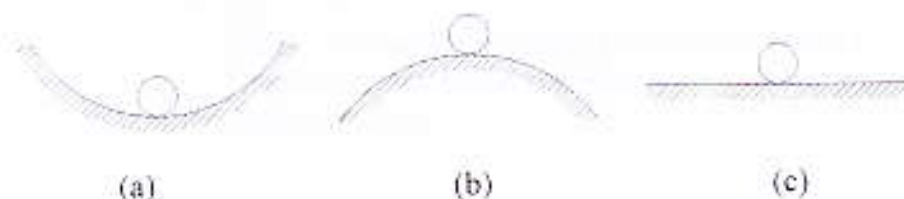
1. Melatih kemampuan akademik dalam proses penelitian pada bidang perancangan konstruksi mesin
2. Peralatan pengujian ini dapat digunakan sebagai alat peraga fenomena ketidakstabilan kolom Pada mata kuliah Mekanika Kekuatan Material dan Praktikum Fenomena Dasar Mesin di jurusan Teknik Mesin.

### Metodologi Penelitian

1. Studi literatur mengenai ketidakstabilan pada struktur kolom
2. Penghitungan beban kritis dan kurva ketidakstabilan stuktur kolom
3. Perancangan peralat eksperimen untuk pengujian
4. Pengujian beban kritis dan pembuatan kurva ketidakstabilan kolom secara eksperimen
5. Membandingkan hasil teoritik dan eksperimen

## 3 TINJAUAN PUSTAKA

Stabilitas secara sederhana dapat digambarkan seperti pada gambar 1 di bawah. Jika bola seperti pada gambar 1a setelah diberi gangguan ringan, bola akan berpindah, tetapi akan kembali ke posisi semula setelah beberapa lama gangguan dilepaskan. Pada kondisi ini, bola dikatakan pada kesetimbangan stabil.



Gambar 1. Kesetimbangan stabil, tak stabil dan netral

- (a) Kesetimbangan stabil
- (b) Kesetimbangan tak stabil
- (c) Kesetimbangan netral

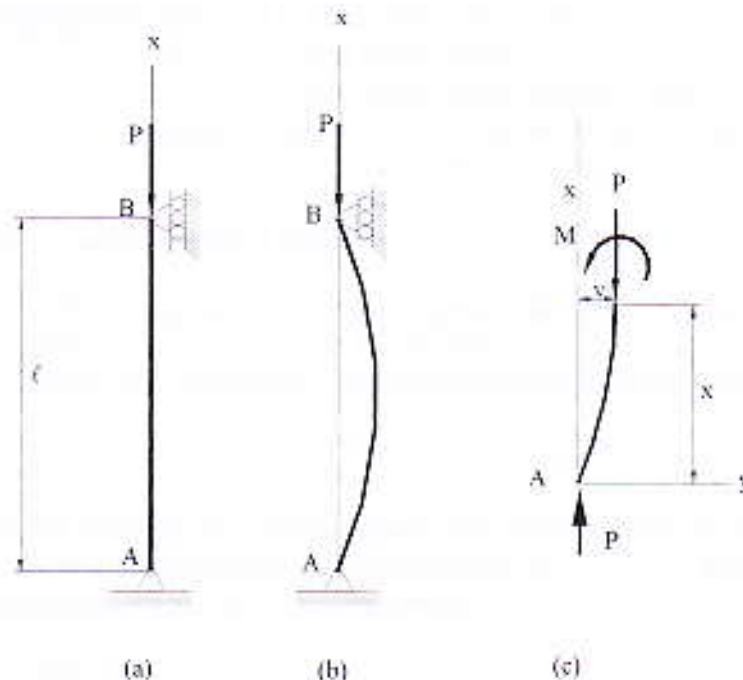
Jika gangguan diberikan pada bola seperti pada gambar 1b, bola akan bergerak terus menerus dan tidak akan kembali ke posisi semula. Bola pada kasus ini dikatakan



takstabil. Sedangkan pada kasus selanjutnya seperti pada gambar 1c, bola yang diberikan gangguan ringan akan bergerak dan mencari garis kesetimbangan baru setelah gangguannya dihilangkan. Pada kasus ini, bola disebut pada kondisi netral. Transisi antara kondisi stabil dan netral atau antara stabil dan takstabil ditandai dengan titik batas kestabilan (stability limit point)

## 2.1 Buckling Pada Kolom

Kolom merupakan batang tekan yang mempunyai luas penampang yang konstan. Jika kolom menerima beban tekan yang berlebihan akan mengakibatkan terjadinya buckling atau tertekuk, seperti dapat dilihat pada Gambar 2. Beban aksial yang menjadi batas antara kondisi stabil dan tak stabil pada kolom adalah beban kritis atau beban Euler



Gambar 2 Kolom dengan tumpuan engsel (*pinned ends*)

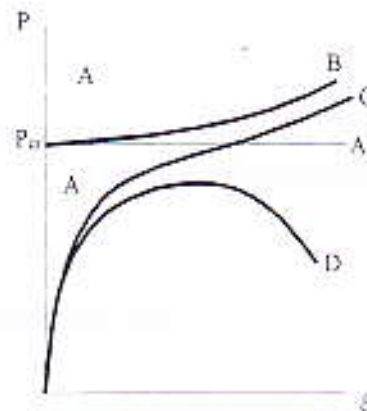
(d) kolom ideal .

(e) Kolom mengalami buckling akibat beban aksial P.

(f) Diagram Benda Bebas potongan kolom dijepit engsel dikedua ujungnya akibat P.

Akibat beban aksial yang diberikan, kolom mengalami penekukan dalam arah lateral penampangnya, seperti yang diperlihatkan gambar (2b). Euler merumuskan hubungan antara deformasi atau buckling yang terjadi ( $v$ ), momen lentur ( $M$ ), kekakuan lentur ( $EI_y$ ) dan panjang kolom ( $l$ ) sehingga diperoleh hubungan antara beban tekan kritis ( $P_{cr}$ ) dengan kekakuan lentur serta panjang Batang .

Beberapa bentuk hubungan defleksi-gaya tekan terhadap struktur kolom diperlihatkan dalam Gambar 3 di bawah.



Gambar 3 Diagram gaya-defleksi pada kolom :  
 kurva A, kolom elastis ideal;  
 kurva B, kolom elastis ideal dengan defleksi awal yang besar;  
 kurva C, kolom elastis yang mengalami cacat (*imperfection*)  
 kurva D, kolom kaku (*inelastic*) disertai cacat.

## 2.2 Buckling pada Tumpuan Engsel

Untuk kondisi kolom yang kedua ujungnya ditahan dengan tumpuan engsel (*pin-ends*) seperti pada gambar (2). Dari diagram benda bebas suatu segmen kolom seperti yang diperlihatkan gambar (2c), persamaan kesetimbangan statik dapat diturunkan menjadi

$$-M + Pv = 0 \quad (2.1)$$

dimana  $M$  adalah momen yang terjadi pada titik segmen pemotongan, dan  $v$  adalah defleksi arah lateral. Selanjutnya hubungan antara momen dan defleksi lateral pada suatu titik pada batang dapat ditulis dalam bentuk

$$M = -EIv'' \quad (2.2)$$

Dengan substitusi persamaan (2.2) ke persamaan (2.1) didapatkan persamaan berikut

$$EIv'' + Pv = 0 \quad (2.3)$$

atau dapat diubah lagi dalam bentuk

$$v'' + \frac{P}{EI}v = 0 \quad (2.4)$$

atau dapat disederhanakan menjadi

$$v'' + k^2v = 0 \quad (2.5)$$

dengan

$$k^2 = \frac{P}{EI} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.5) merupakan persamaan differensial linier orde kedua dengan koefisien konstan. Maka penyelesaian umum persamaan tersebut adalah

$$v = A \sin kx + B \cos kx \quad (2.6)$$

Dengan menggunakan 2 syarat batas yaitu

$$v(0) = 0 \quad (2.7a)$$

$$v(L) = 0 \quad (2.7b)$$

Sehingga didapatkan harga-harga konstanta berikut

$$B = 0 \quad (2.8a)$$

$$A \sin kL = 0 \quad (2.8b)$$

Dari persamaan (2.8b) terpenuhi jika

$$kL = n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.9)$$

Dengan substitusi persamaan (2.9) ke persamaan (2.6) didapatkan persamaan untuk gaya P sebagai berikut

$$P = \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2} \quad (2.10)$$

Harga P untuk nilai n terkecil ( $n = 1$ ) disebut dengan beban kritis. Beban kritis  $P_{cr}$  ini juga dikenal dengan beban Euler  $P_e$ , yaitu

$$P_{cr} = P_e = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.11)$$

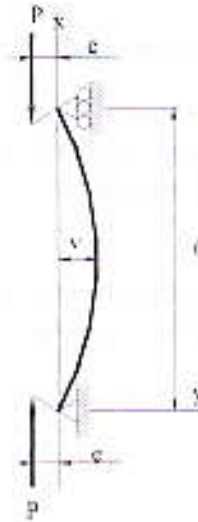
Pola defleksi kolom pada saat bukling dapat diturunkan dengan mensubstitusikan konstanta B dan k ke dalam persamaan (2.6), menjadi

$$v = A \sin \frac{\pi x}{L} \quad (2.12)$$

Konstanta A masih tak tentu, hanya pola defleksi yang dapat ditentukan, bukan amplitudonya. Hal ini dilakukan dengan asumsi defleksi sangat kecil, sehingga pendekatan linier seperti pada persamaan (2.6) dapat dilakukan. Jika amplitudo diasumsikan besar maka persamaan menjadi nonlinier.

### 2.3 Kolom dengan Beban Eksentrik

Jika beban aksial menyimpang sejauh  $e$  pada pusat penampang kolom seperti pada *Gambar 4* :

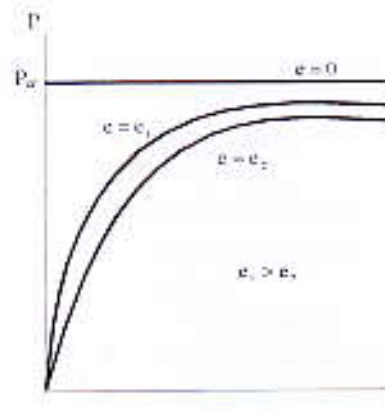


*Gambar 4* Kolom dengan beban eksentrik.

bentuk lendutan yang terjadi dirumuskan dengan :

$$v = e \left( \tan \frac{k\ell}{2} \sin kx + \cos k\ell - 1 \right) \quad (2.7)$$

Perbandingan kurva lendutan yang terjadi terhadap  $e$  yang bervariasi diperlihatkan dalam *Gambar 5* :



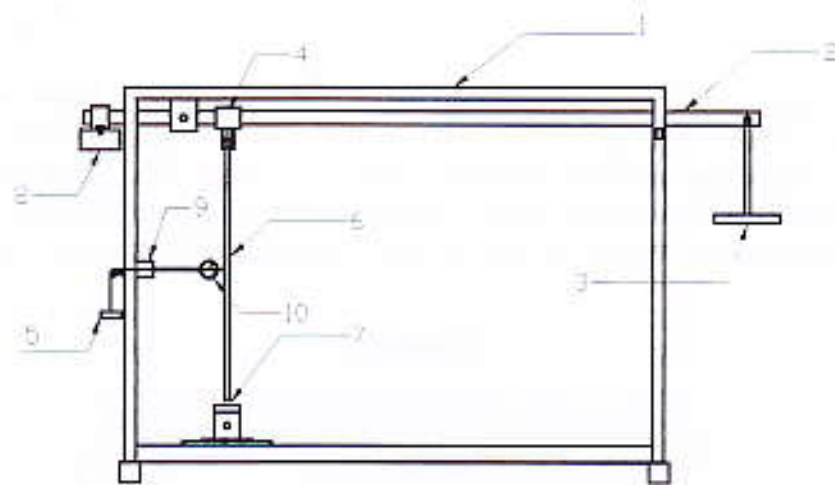
*Gambar 5* Kurva lendutan dengan variasi  $e$ .



### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil penghitungan teoritik dan hasil pengujian dengan perangkat uji, secara umum dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

1. Menghitung secara teoritik beban kritis yang terjadi pada kolom berdasarkan rumus Euler.
2. Membuat perangkat pengujian stabilitas kolom. Skema perangkat pengujian dapat diamati pada gambar 6. spesimen uji berupa struktur kolom dengan beban aksial dan beban eksentrik.
3. Melakukan pengujian dengan memvariasikan beban uji, tiap kali pembebanan diamati perubahan lendutannya dari dial indikator membandingkan hasilnya dengan perhitungan secara teoritik.



Gambar 6 Skema perangkat uji

1. kerangka
3. balok kaku
2. beban uji,
3. tumpuan kolom,
4. beban pancing.,
5. kolom,
6. tumpuan dasar
7. beban penyeimbang
8. magnetic stand
9. Dial Indikator.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kolom yang diamati dalam penelitian ini ada tiga jenis, yaitu kolom 1 dengan beban berada di sumbu titik berat penampang, kolom 2 dan 3 dengan beban eksentrik. Perhitungan dilakukan untuk menentukan kurva lendutan yang terjadi pada bagian kolom yang mengalami defleksi maksimum ( $x = \ell/2$ ).

Tabel 1. Spesifikasi kolom

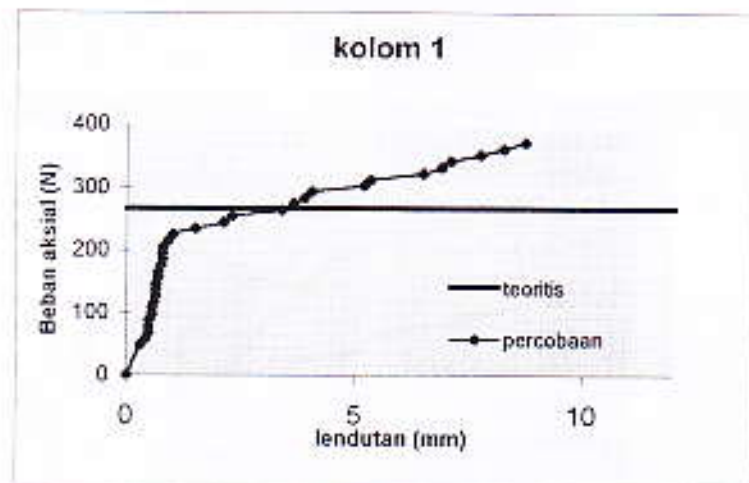
Kolom	modulus elastisitas Mpa	$I_y \text{ mm}^4$	$\ell$ mm	e mm
1	210000	26.04	450	0
2	210000	26.04	450	15
3	210000	26.04	450	30

Berdasarkan persamaan (2.3) beban kritis untuk ketiga kolom adalah

$$P_{cr} = P_c = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 26.04}{450^2}$$

$$= 266.54 \text{ N}$$

Perbandingan hasil perhitungan teoritik dan pengukuran eksperimen untuk kasus beban aksial pada kolom 1 dapat dilihat pada gambar 7. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa beban kritis hasil pengujian yang dilakukan memiliki perbedaan yang cukup mencolok. Beban kritis secara eksperimental adalah sebesar 225 N. Setelah melewati beban kritis, struktur terdefleksi sangat besar karena timbulnya ketidakstabilan

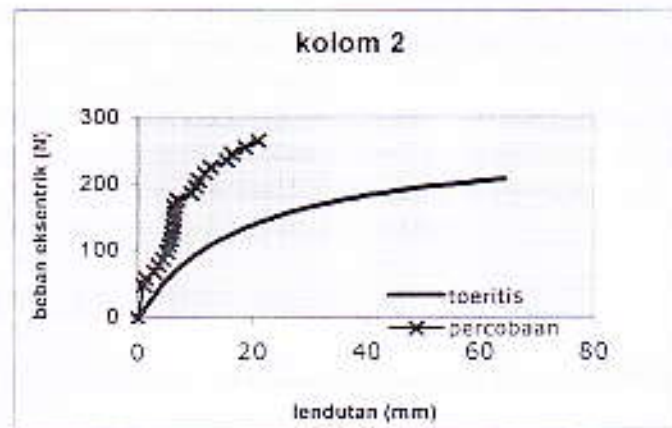


Gambar 7 Grafik lendutan untuk pembebanan aksial.

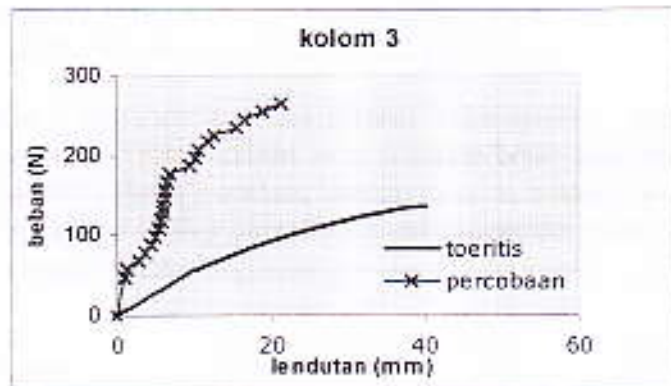
Untuk kasus beban eksentrik perbandingan hasil penghitungan teoritik dan eksperimental defleksi yang terjadi pada kolom kolom 2 dan 3 dapat diamati pada gambar 8 dan gambar 9 berikut. Penghitungan secara teoritik dilakukan dengan persamaan berikut



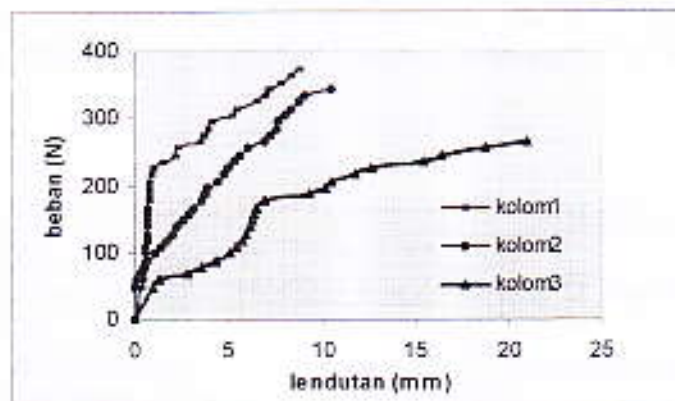
$$\delta = v_{\max} = v\left(\frac{\ell}{2}\right) = e\left(\sec \frac{k\ell}{2} - 1\right)$$



Gambar 8 Grafik lendutan untuk pembebanan eksentrik  $e = 15$  mm.



Gambar 9 Grafik lendutan untuk pembebanan eksentrik  $e = 30$  mm.



Gambar 10 Grafik perbandingan lendutan hasil eksperimen.

Dari hasil penghitungan dan pengukuran secara eksperimental yang diperlihatkan pada grafik di atas dan tabel lendutan kritis terlihat perbedaan antara perhitungan Beban

kritis lendutan maksimum teoritik dengan data hasil eksperimen. Beberapa hal yang dapat diamati :

1. kolom yang dipakai dalam pengujian (baja;  $E=210$  GPa) tidak lurus sempurna, sehingga pemberian beban aksial secara murni sulit untuk dilakukan. Hal ini terjadi karena sulitnya membuat spesimen uji yang benar-benar lurus
2. Pada saat beban mendekati nilai  $P_{cr}$  secara teoritik (266 N) atau secara eksperimental (225 N) lendutan secara teoritik menjadi sangat besar, sehingga pendekatan linier yang dilakukan seperti yang dibahas di bab 2 tidak berlaku lagi. Hal ini menjadi sebab hasil penghitungan teoritik tidak lagi menjadi valid jika dibandingkan dengan hasil eksperimental.

## 5. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang dilakukan pada bab sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Kolom yang mengalami beban aksial yang melebihi beban kritis yang dapat ditahannya akan mengalami ketidakstabilan, yang mengakibatkan terjadinya kegagalan karena besarnya defleksi lateral yang terjadi.
2. Pada grafik perbandingan hasil-hasil eksperimen menunjukkan bahwa pembebanan dengan eksentrisitas yang semakin besar akan menyebabkan kolom lebih mudah mengalami buckling (melendut), ini menunjukkan bahwa performa perangkat uji sudah cukup baik dan dapat digunakan untuk kuliah Praktikum Fenomena Dasar Mesin.

### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana dengan dibiayai oleh dana SPP-DPP Lembaga Penelitian Universitas Andalas. Terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Andalas, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas dan semua pihak yang terkait dengan penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

### Daftar Pustaka

1. Pilkey.W.D and Wunderlich.W, *Mechanics of Structures Variational and Computational Methods*, CRC Press, USA, 1994
2. Timosenko, S.P and Gere, J.J, *Mechanics of Materials*, D. Van Nostran Company, USA, 1972.
3. Shigley, J.E and Mischke, C.R, *Mechanical Engineering design* 5<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill book company, Singapore, 1989.
4. Bur.M. dkk, *Analisis Stabilitas Statik Silinder Tipis*, Journal Teknika, No. 6. Th. III, 1996