

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian Yusuf Bakhtiar, 2015, Analisa *Buckling* terhadap tabung plat tipis menggunakan metode elemen hingga. Fenomena *Buckling* pelat berhasil dilakukan dengan *software Ansys*. Pada simulasi *Buckling* (tekuk) dengan variasi *velocity* yang berbeda yaitu 70, 75, 80, dan 90 m/s dengan jumlah elemen 3388, semakin tinggi *velocity* yang diberikan, maka deformasi yang terjadi pada material semakin tinggi, sehingga rangka yang mula-mula lurus berubah menjadi menekuk.

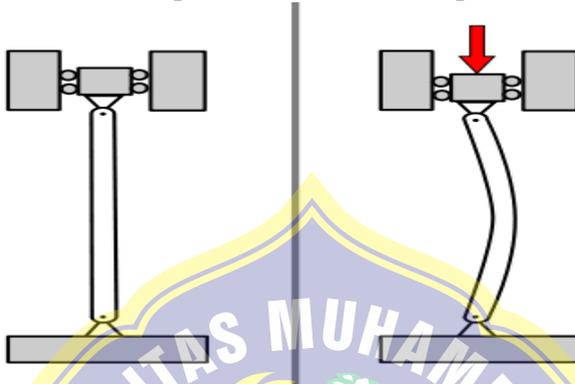
Parameter yang berpengaruh pada FEM dengan *software Ansys* adalah ukuran *mesh* dan *velocity*, semakin tinggi *velocity*-nya, beban maksimal yang mampu ditahan oleh material semakin rendah, karena ada unsur kejutan yang mempengaruhi titik simetrisnya dan semakin sedikit jumlah elemen atau *mesh* maka tabung plat tipis semakin menekuk.

2.2 Pengertian *Buckling*

Buckling stress atau tegangan Tekuk adalah ketidakstabilan yang mengarah ke modus kegagalan. Secara teoritis tegangan tekuk disebabkan oleh bifurkasi dalam solusi untuk persamaan keseimbangan statis.

Adapun definisi lain mengenai tegangan tekuk adalah suatu proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya. Konsekuensi *buckling* pada dasarnya adalah masalah geometrik dasar, dimana terjadi lendutan besar sehingga akan mengubah bentuk struktur. Fenomena tekuk atau *buckling* dapat terjadi pada sebuah kolom langsing, lateral *buckling*

balok, pelat tipis dan batang silindris di bebani aksial sumbu dan batang silindris di bebani tegak lurus sumbu.



Gambar 2.1 Contoh tegangan tekuk

Sumber: (*Mechanical Design in Optical Engineering*)

2.2.1 Macam-macam tegangan tekuk :

Lentur tekuk

Jenis *buckling* dapat terjadi pada setiap anggota kompresi yang mengalami defleksi yang disebabkan oleh pembengkokan atau lentur. Lentur tekuk terjadi sekitar sumbu dengan rasio kelangsingan terbesar, dan jari-jari terkecil rotasi.

Torsional buckling

Jenis tekuk hanya terjadi pada anggota kompresi yang ganda-simetris dan memiliki sangat ramping cross-sectional elemen. Hal ini disebabkan oleh balik tentang sumbu longitudinal. Torsi tekuk terjadi terutama di bagian built-up, dan hampir tidak pernah di bagian digulung.

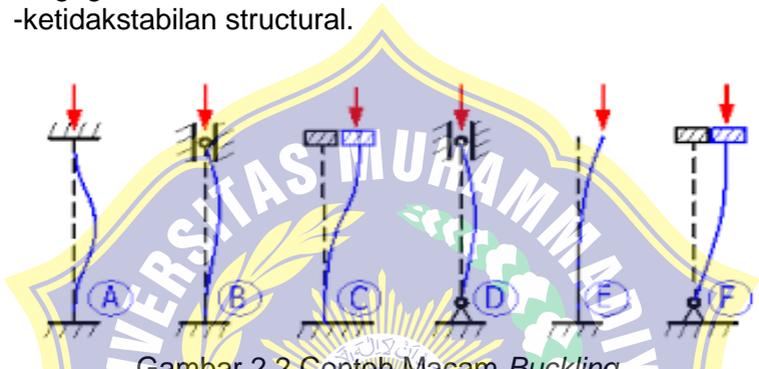
Lentur-torsional buckling

Jenis tekuk hanya terjadi pada anggota kompresi yang memiliki penampang simetris dengan satu sumbu

simetri. Lentur-torsi tekuk adalah membungkuk simultan dan memutar dari anggota. Hal ini terutama terjadi pada saluran, ter struktural, ganda-sudut bentuk, dan sudut tunggal yang sama.

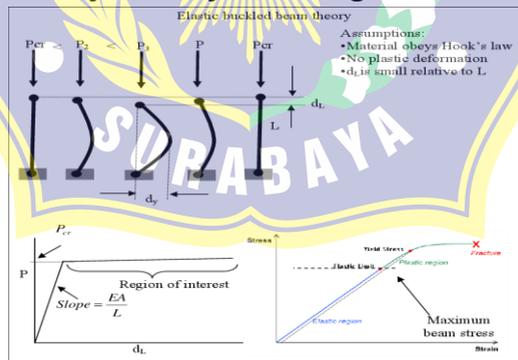
Dua kategori kegagalan secara tiba-tiba komponen mekanis:

- kegagalan material dan
- ketidakstabilan structural.



Gambar 2.2 Contoh Macam *Buckling*.
 Sumber : (*Buckling Behaviour of Bars* 2019)

2.2.2 Cara kerja alat uji *buckling*.



Gambar 2.3 Gambar teori *buckling*.
 Sumber : (*Buckling Behaviour of Bars* 2019)



Gambar 2.4 Gambar alat uji *buckling*.

Sumber : Dokumentasi pribadi

Suatu bahan material uji berbentuk batang / plat dengan lebar dan Panjang tertentu di di letakan di tengah- tengah alat uji buckling tepat pada tumpuan atas dan bawah, kemudian di berikan gaya oleh dongkrak *hydraulic* / *pneumatic* silinder secara perlahan lahan sampai terjadi tekukan maksimal dan diberhentikan gaya tekan dari dongkrak dan dikendorkan katup balik *hydraulic* secara perlahan jika benda uji / material mampu menahan gaya maka material bisa kembali bentuk semula dan jika material uji tidak mampu menahan gaya atau gaya lebih besar maka akan terjadi tekuk permanen karena bifurkasi pada salah satu titik material tersebut. Pada batang yang yang lebih panjang kemungkinan terjadi nya tekukan semakin besar, dengan kata lain apabila perbandingan antara Panjang dan luas penampang batang semakin besar maka kemungkinan tekuknya juga semakin besar.

Pada alat uji buckling tumpuan tengah atas bawah bisa di bagi menjadi 3 macam jenis tumpuan berdasarkan gaya tekan aksial yang di berikan yaitu :

a. Tumpuan Engsel – Jepit

Pada ujung yang ditumpu dengan tumpuanjepit bekerja 3 buah gaya sehingga daerah defleksi lebih mendekati tumpuanengsel yang cuma mendapat 1 gaya.

b. Tumpuan Engsel – Engsel

Pada tumpuan engsel – engsel kedua ujung spesimen ditumpu oleh engsel. Pada tumpuan ini spesimen / material sangat mudah patah. Karena tegangan kritisnya kecil. Hal ini disebabkan karena pada tumpuan ini, yaitu pada ujung bagian spesimen / pada tumpuan hanya bekerja gaya yang sejajar dengan sumbu batang dan gaya horisontal.

c. Tumpuan Jepit – Jepit

Pada tumpuan ini spesimen memiliki tegangan kritis yang besar (kemampuan terimabeban yang besar) dibandingkan dengan tumpuan engsel – engsel / engsel – jepit. Karena pada kedua ujung spesimen bekerja tiga gaya yaitu gaya yang sejajar dengan sumbu batang, gaya horisontal, dan momen gaya.

2.3 Analisa dan perhitungan manual

Tegangan tekuk Euler

Tahun 1757, ahli matematika Leonhard Euler berasal formula yang memberikan maksimum beban aksial bahwa panjang, ramping, kolom yang ideal dapat membawa tanpa *buckling*. Kolom yang ideal adalah salah satu yang sempurna lurus, homogen, dan bebas dari stres

awal. Beban maksimum, kadang-kadang disebut beban kritis, menyebabkan kolom berada dalam keadaan kesetimbangan yang stabil; itu adalah, pengenalan Angkatan lateral sedikit akan menyebabkan kolom gagal oleh Tekuk. Rumus yang diturunkan oleh Euler untuk kolom dengan tidak ada pertimbangan kekuatan lateral yang diberikan di bawah ini. Namun, jika kekuatan lateral diambil ke dalam pertimbangan nilai kritis beban kira-kira tetap sama.

Untuk beban tekuk kritis dapat dihitung menggunakan rumus Euler:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \dots \dots \dots (\text{persamaan 2.1})$$

Dimana:

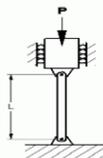
E = Modulus elastisitas bahan

I = Minimum momen inersia

L = panjang Didukung kolom (lihat gambar di bawah)

Perhatikan bahwa terlepas dari kondisi akhir, beban kritis tidak tergantung pada kekuatan materi, melainkan kekakuan lentur, Ketahanan tekuk dapat ditingkatkan dengan meningkatkan momen inersia.

Ideal pinned, ia mempertahankan bentuknya dibelokkan setelah penerapan beban kritis. Dalam sebagian besar aplikasi, beban kritis biasanya dianggap sebagai beban maksimum yang berkelanjutan dengan kolom. Secara teoritis, setiap modus buckling adalah mungkin, tetapi kolom biasanya akan membelokkan ke mode pertama. Kolom A akan tertekuk sewaktu P beban mencapai tingkat kritis, disebut beban kritis (P_{cr}).



Gambar 2.5 *Ideal Pinned* (Pinned – Pinned)

Sumber : (Anastasya chelia 2012)

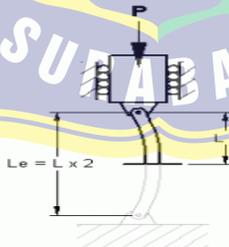
Untuk kolom dengan berbagai jenis dukungan, rumus *EULER* masih dapat digunakan jika jarak L diganti dengan jarak antara titik momen nol. Kedua profil melingkar dapat diatur dalam profil berbentuk 'S', seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah, dalam hal ini menyatakan bahwa diskontinuitas kelengkungan menyebabkan beberapa dua beban tekuk. Perhatikan struktur satu derajat kebebasan ditunjukkan pada gambar di bawah yang memiliki dua beban tekuk (satu tarik dan satu tekan).



Gambar 2.6 Dua beban tekuk (satu tarik dan satu tekan).
 Sumber : (Anastasya chelia 2012)

Panjang ini disebut panjang L_e efektif dan diilustrasikan di bawah ini. Dengan demikian persamaan beban kritis menjadi:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.2})$$



Gambar 2.6 Dasar rumus L_e .
 Sumber : (Anastasya chelia 2012)

Rasio kekakuan merupakan parameter penting dalam klasifikasi anggota kompresi, dan diwakili oleh persamaan:

$$S = \frac{Le}{r} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.3})$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.4})$$

Dimana:

r = Radius rotasi

I = Momen inersia

A = Luas penampang

Jika rasio kekakuan > (lebih besar dari) rasio kekakuan kritis, maka kolom diperlakukan sebagai kolom panjang dan rumus Euler *buckling* berlaku.

$$Scr = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.5})$$

Jika rasio kekakuan adalah < (kurang dari) rasio kekakuan kritis, kolom diperlakukan sebagai kolom pendek.

Dalam kolom pendek, kegagalan dapat terjadi dengan kompresi tanpa signifikan tekuk dan pada tegangan melebihi batas proporsional. Untuk kondisi ini, rumus Johnson adalah berlaku:

$$P_{cr} = \sigma_y A \left[1 - \left(\frac{\sigma_y}{4\pi^2 E} \right) \left(\frac{Le}{r} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2.6})$$

Untuk kolom yang gagal setelah timbulnya perilaku elastis, konstanta proporsionalitas harus digunakan daripada modulus elastisitas (*Engesser formula*). Konstanta proporsionalitas, E_t , adalah kemiringan dari diagram tegangan-regangan yang melampaui batas proporsional, modulus tangen disebut. Perhatikan dalam kisaran linear elastis, $E = E_t$.

Apabila poros menerima beban momen puntir atau torsi, maka diameter dari poros dapat dihitung dengan persamaan torsi, yaitu :

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau}{r} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.7)}$$

Dimana : T = Momen puntir

J = Momen inersia polar penampang poros

τ = Tegangan geser

r = jari – jari poros

Sedangkan momen Inersia polar untuk poros pejal adalah :

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.8)}$$

Sehingga diperoleh :

$$\frac{T}{\pi d^4/32} = \frac{t}{d/2} \text{ atau } T = \frac{\pi}{16} \times t \times d^3 \dots \text{(Persamaan 2.9)}$$

Pada poros juga mengalami berbagai tegangan antara lain:

Tegangan geser $\tau_g = \frac{F}{A}$; Tegangan puntir $\tau_p = \frac{Mp}{Wp}$;

Tegangan bengkok $\sigma_b = \frac{Mp}{Wb}$: Momen tahanan bengkok (W_b) tergantung bentuk penampang potong benda

$$W_b = \frac{\pi D^3}{32} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.10)}$$

Keterangan :

τ_g = Tegangan Geser (N/mm²)

M_b = Momen Bengkok (N/mm²)

τ_p = Tegangan puntir (N/mm²)

D = Diameter poros (mm)

w_b = Momen tahanan bengkok (mm)

2.4 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (MEH) atau Finite Element Method (FEM) atau biasanya disebut Finite Element Analysis (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan tekuk, tegangan pada struktur, [frekuensi pribadi dan mode shape-nya](#), perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida .

Pada masalah-masalah ini digunakan rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian (*meshing*).

2.4.1 Langkah-langkah dasar dalam metode elemen hingga ada 3 fase

Fase pengolahan

1. Membuat dan menentukan daerah yang akan diselesaikan menggunakan elemen hingga, kemudian menguraikan masalah menjadi nodal-nodal dan elemen-elemen.
2. Mengasumsikan bentuk fungsi untuk menggambarkan sifat fisik dari sebuah elemen, yang merupakan pendekatan fungsi kontinyu

yang diasumsikan untuk menggambarkan solusi dari sebuah elemen.

3. Menyelesaikan persamaan untuk sebuah elemen
4. Menyatukan elemen-elemen untuk menghadirkan keseluruhan masalah. Membentuk matrik kekakuan global *discretize*.
5. Terapkan kondisi batas, kondisi awal dan pembebanan.

Fase Solusi.

Memecahkan satu set persamaan aljabar linier atau non linier secara cepat untuk mendapatkan hasil nodal seperti nilai perpindahan pada nodal-nodal yang berbeda atau nilai temperatur pada nodal-nodal yang berbeda dalam masalah perpindahan panas

Fase setelah Proses

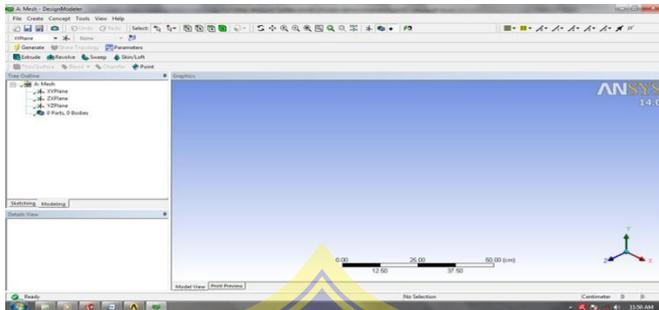
Pada sesi ini kita akan mendapatkan informasi penting lainnya. Seperti nilai tegangan (stress) dalam analisa statik, distribusi kecepatan meknika fluida, distribusi temperatur dan lain-lain.

2.5. Software Ansys.

Pengertian dan sejarah ansys

Ansys adalah sebuah *software* analisis elemen hingga dengan kemampuan menganalisa dengan cakupan yang luas untuk berbagai jenis masalah. Tim Langlais, 1999. *Ansys* mampu memecahkan persamaan

differential dengan cara memecahnya menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Pada awalnya program ini bernama *STASYS Structural Analysis System*, kemudian berganti nama menjadi *Ansys* yang ditemukan pertama kali oleh Dr. John Swanson pada tahun 1970. *Ansys* merupakan tujuan utama dari paket permodelan elemen hingga untuk secara numerik memecahkan masalah mekanis yang berbagai macam. Masalah yang ada termasuk analisa struktur statis dan dinamis baik linear dan non-linear, distribusi panas dan masalah cairan, begitu juga dengan ilmu bunyi dan masalah elektromagnetik. Teknologi ANSYS mekanis mempersatukan struktur dan material yang bersifat non-linear. *Ansys multiphysic* juga mengatasi masalah panas, struktur, elektromagnetik, dan ilmu bunyi. Program *Ansys* dapat digunakan dalam teknik mesin, teknik sipil, teknik listrik, fisika dan kimia. *Ansys* bekerja dengan sistem metode elemen hingga, dimana penyelesaiannya pada suatu objek dilakukan dengan memecah satu rangkaian kesatuan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan dihubungkan dengan node. Material yang disusun dengan node Hasil yang diperoleh dari *Ansys* ini berupa pendekatan dengan menggunakan analisa numerik. Ketelitiannya sangat bergantung pada cara kita memecah model tersebut dan menggabungkannya.



Gambar 2.7 Gambar tampilan Ansys 16.0
Sumber : Dokumentasi pribadi

2.6 Material ASTM 304.

Grade 304 adalah stainless standar "18/8"; merupakan stainless steel paling fleksibel dan paling banyak digunakan, tersedia dalam berbagai produk, bentuk dan lain-lain. Material ini memiliki karakteristik pembentukan dan pengelasan yang sangat baik. Struktur seimbang *austenitic* dari *Grade 304* memungkinkannya untuk ditarik sangat dalam tanpa anil perantara, yang telah membuat grade ini dominan dalam pembuatan bagian stainless yang ditarik seperti bak cuci, perkakas berlubang, dan panci. Untuk aplikasi ini, biasanya digunakan varian "304DDQ" (*Deep Drawing Quality*) khusus. *Grade 304* siap dibentuk menjadi berbagai komponen untuk aplikasi di bidang industri, arsitektur, dan transportasi. *Grade 304* juga memiliki karakteristik pengelasan yang luar biasa.

Grade 304L, versi rendah karbon 304, tidak memerlukan pengerasan pasca-pengelasan dan juga digunakan secara luas dalam komponen pengukur berat (lebih dari sekitar 6mm). *Grade 304H* dengan kandungan karbonnya yang lebih tinggi ditemukan pada

suhu tinggi. Struktur austenitic juga memberikan ketangguhan yang luar biasa, bahkan hingga suhu *cryogenic*.

Grade		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
304	min.	-	-	-	-	-	18.0	-	8.0	-
	max.	0.08	2.0	0.75	0.045	0.030	20.0	-	10.5	0.10
304L	min.	-	-	-	-	-	18.0	-	8.0	-
	max.	0.030	2.0	0.75	0.045	0.030	20.0	-	12.0	0.10
304H	min.	0.04	-	-	-0.045	-	18.0	-	8.0	-
	max.	0.10	2.0	0.75	-	0.030	20.0	-	10.5	-

Gambar 2.8 tabel komposisi ASTM 304.

Grade	Tensile Strength (MPa) min	Yield Strength 0.2% Proof (MPa) min	Elongation (% in 50mm) min	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max	Brunell (HB) max
304	515	205	40	92	201
304L	485	170	40	92	201
304H	515	205	40	92	201

304H also has a requirement for a grain size of ASTM No 7 or coarser.

Gambar 2.9 Tabel sifat mekanis ASTM 304

2.6.1 Macam Kegunaan ASTM 304

Aplikasi yang umum termasuk:

- Peralatan rumah tangga seperti rangka kursi, meja, pagar rumah dan lain-lain.
- Untuk rangka kendaraan bermotor
- Penghantar panas
- Peralatan pengolahan makanan