

## **HUBUNGAN ANTARA KELANGSINGAN KOLOM BAJA DAN KAPASITAS AKSIAL PENAMPANG-NYA MENGGUNAKAN DAM PADA SAP 2000 DAN SNI 1729:2015**

Partogi H. Simatupang<sup>1</sup> (simatupangpartogi@yahoo.com)

Patrik A. A. Laiskodat<sup>2</sup> (patriklaiskodat@gmail.com)

Jusuf J. S. Pah<sup>3</sup> (yuserpbdaniel@yahoo.co.id)

### **ABSTRAK**

Teknologi semakin hari semakin berkembang diikuti dengan penggunaannya dalam berbagai bidang meningkat termasuk dalam perencanaan konstruksi struktur baja. Salah satu metode perencanaan konstruksi struktur baja yang memanfaatkan teknologi adalah *Direct Analysis Method* (DAM) atau metode analisis langsung. Banyak program komputer termasuk SAP 2000 yang telah menerapkan metode ini dalam proses analisisnya. Dalam peraturan konstruksi struktur baja Standar Nasional Indonesia terbaru (SNI 1729:2015) dikonfirmasi bahwa DAM dimasukkan sebagai salah satu metode perencanaan untuk struktur baja. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas aksial penampang kolom baja dengan menggunakan DAM pada SAP 2000 dan berdasarkan Peraturan SNI 1729:2015. Struktur kolom yang dimodelkan memiliki tinggi 8,5 m dengan perletakan ujung bawah berupa sendi dan di ujung atas berupa sendi dimana d.o.f arah vertikal bebas. Penampang kolom menggunakan profil *Wide Flange* dan pipa masing-masing terdiri atas 5 variasi ukuran dengan mutu baja ( $f_y$ ) yang dipakai adalah 240 MPa dan 410 MPa. Sesuai hasil analisis tekuk elastis, perhitungan kapasitas aksial penampang kolom baja berdasarkan SNI 1729:2015 menunjukkan nilai yang lebih kecil daripada analisis menggunakan program SAP 2000. Perbandingan hasil SAP 2000 terhadap SNI 1729:2015 pada profil WF adalah sekitar 126,316% - 126,858%. Sedangkan perbandingan untuk profil pipa pada kondisi kelangsingan besar adalah sekitar 126,412% - 126,828%.

**Kata Kunci :** *Direct Analysis Method; SAP 2000; SNI 1729:2015; Tekuk Elastis.*

### **ABSTRACT**

*Technology keep developing each day followed by its implementation in every sector including in steel structure construction design. One of steel structure construction design that use technology is Direct Analysis Method (DAM). There are many computer programs, including SAP 2000 that applied this method on its analysis. According to latest Indonesia National Standard (SNI 1729:2015) regulation about steel structure construction, confirmed that DAM inserted as one of steel structure design. This research aim to find out compressive strength of steel column section using DAM on SAP 2000 and SNI 1729:2015 Regulation. The column structure that modeled is 8,5 m in height with the bottom end placement of the joint and at the top end of the joint where the free vertical direction d.o.f. Column section using Wide Flange profile and pipes, each consist of 5 size varieties using quality steel ( $f_y$ ) are 240 MPa and 410 MPa. In accordance with elastic buckling analysis result, axial capacity of steel column section based on SNI 1729:2015 showed smaller number compared to analysis using SAP 2000. Comparison SAP 2000 to SNI 1729:2015 in WF profile is around 126,316% - 126,858%. Whereas comparisons for pipe profile on slender condition is around 126,412% - 126,828%.*

**Keyword :** *Direct Analysis Method; SAP 2000; SNI 1729:2015; Elastic Bucklings.*

### **PENDAHULUAN**

Teknologi merupakan hasil dari pemikiran manusia yang berupa metode maupun alat dan dapat dipakai untuk mempermudah suatu pekerjaan. Kemajuan dalam bidang teknologi membuat

---

<sup>1</sup> Prodi Teknik Sipil, FST Undana

<sup>2</sup> Prodi Teknik Sipil, FST Undana

<sup>3</sup> Prodi Teknik Sipil, FST Undana

analisis-analisis struktur menggunakan metode manual yang rumit mulai tergantikan dengan analisis praktis berbasis komputer. Salah satu metode terbaru dalam perencanaan konstruksi struktur baja adalah *Direct Analysis Method* (DAM) atau metode analisis langsung yang merupakan salah satu metode analisis khusus untuk struktur baja dimana dalam penerapannya khususnya pada kasus kompleks diharuskan menggunakan bantuan komputer. Kelebihan metode ini adalah memperhitungkan kondisi *imperfection* (nonlinier geometri), kondisi inelastis (nonlinier material) dan analisis orde 2 (pengaruh deformasi) dimana faktor-faktor tersebut belum diperhitungkan pada metode yang ada sebelumnya. Penggunaan DAM telah disetujui di Amerika dan dimasukkan dalam *American Institute of Steel Construction* (AISC) 2005 sebagai metode alternatif untuk dapat dibandingkan dengan metode panjang efektif (*Effective Length Method/ELM*) yang telah dipakai selama ratusan tahun. Baru pada tahun 2010 dalam AISC 2010 *Chapter C*, DAM ditetapkan sebagai metode perencanaan konstruksi struktur baja yang baru menggantikan ELM. Di Indonesia DAM baru dimasukkan sebagai salah satu metode perencanaan untuk struktur baja dalam peraturan konstruksi struktur baja Standar Nasional Indonesia 1729:2015 (BSN 2015). SNI 1729:2015 sebagai tata cara perencanaan struktur baja yang baru di Indonesia dipilih mewakili metode eksak karena BSN telah mengklaim bahwa SNI 1729:2015 telah mengadopsi DAM dalam penggunaannya. Untuk cara numerik, SAP 2000 dipilih karena dianggap sebagai suatu program analisa struktur berbasis *finite element method*, yang dianggap paling banyak dikenal oleh para kalangan insinyur di Indonesia. Perlu ditegaskan bahwa penentuan kapasitas penampang dengan menggunakan rumus empiris maupun metode numerik tersebut merupakan cara pendekatan untuk mengetahui kapasitas penampang bukan untuk mengetahui kekuatan sebenarnya sehingga hasil analisis yang didapat mungkin saja berbeda. Mengetahui perbandingan hasil analisis kapasitas penampang kolom baja menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM) pada SAP 2000 cara analisis tekuk elastis dan SNI 1729:2015 (BSN 2015).

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Direct Analysis Methode* (DAM)

Menurut Dewobroto (2015) Perencanaan struktur baja yang umumnya komponen langsung, memerlukan analisis stabilitas. Hasilnya dipengaruhi oleh adanya *imperfection* (nonlinier geometri) dan kondisi *inelastis* (nonlinier material). Oleh sebab non-linier, analisisnya dikerjakan secara *incremental* dan iterasi. Sekarang ini dengan dukungan teknologi komputer yang canggih tetapi terjangkau, cara analisis yang dimaksud bukan suatu kendala. Banyak tersedia berbagai jenis analisis berbasis komputer yang dapat dimanfaatkan, mulai dari analisis *Elastic Buckling Load*, *Second-Order Elastic Analysis*, *First-Order Plastic Mechanism Load*, *First-Order Elastic-Plastic Analysis*, dan *Second-Order Elastic-Plastic*, yang disebut juga sebagai *Advance Analysis*. Umumnya jenis analisis seperti itu sudah tersedia sebagai opsi pada program analisa struktur modern. Semakin canggih jenis analisisnya ternyata semakin banyak data yang dilibatkan, sehingga diperlukan pemahaman atau kompetensi tertentu agar hasilnya dapat dipakai secara efektif. Jika dipilih *Advance Analysis* maka hasilnya tentu mencukupi untuk analisis stabilitas. Tetapi jika dipakai untuk pekerjaan perencanaan struktur baja secara rutin (bukan riset), tentunya berlebihan dan tidak praktis.

Strategi penyelesaian yang digunakan DAM tidak persis sama seperti jenis analisis yang rasional, tetapi yang penting telah dibuktikan dengan cara kalibrasi berdasarkan data eksperimental *American Institute of Steel Construction* (AISC 2010) sehingga hasilnya berkorelasi dengan *problem real*. Itulah DAM yang telah menggantikan cara lama ELM (*Effective Length Method*), suatu prinsip penyelesaian stabilitas standar sejak dipakainya rumus Euler dahulu. Cara lama tersebut (ELM) tidak dibuang tetapi dipindah jadi *Appendix 7* (AISC 2010) atau lampiran 7 (SNI 1729:2015), dan dapat dipakai sebagai cara alternatif, khususnya jika tidak tersedia program komputer yang sesuai SNI 1729:2015 (BSN 2015)

Struktur baja yang akan dianalisis adalah struktur kolom sebagai komponen struktur tekan aksial oleh karena itu standar yang dipakai untuk menentukan kolom penampang adalah bagian yang mengatur tentang komponen tekan yaitu SNI 1729:2015 bagian E.

Tabel 1. Rasio Tebal Terhadap Lebar; Elemen Tekan (BSN, 2015)

Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Batasan Rasio Lebar Terhadap Tebal
1	Sayap dari profil I canai panas	b/t	$0,56 \sqrt{E/f_y}$
2	Badan dari profil I simetris ganda	h/tw	$1,49 \sqrt{E/f_y}$
2	PSB Bulat	D/t	$0,11 \frac{E}{f_y}$

a. Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing

Kekuatan Tekan desain yang dihitung adalah

$$\phi P_n \tag{1}$$

Dimana :

$$\phi : 0,9$$

Kekuatan tekan nominal  $P_n$

$$P_n = F_{cr} A_g \tag{2}$$

Dimana :

$F_{cr}$  : Tegangan kritis

$A_g$  : Luas Penampang bruto

Nilai Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) ditentukan sebagai berikut

$$\text{Bila } \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{atau } \frac{f_y}{F_e} \leq 2,25) \tag{3}$$

Maka

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{f_y}{F_e} \right] f_y \tag{4}$$

$$\text{Bila } \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{atau } \frac{f_y}{F_e} > 2,25) \tag{5}$$

Maka

$$F_{cr} = 0,877 F_e \tag{6}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2} \tag{7}$$

b. Komponen Struktur Dengan Elemen Langsing

Kekuatan tekan nominal  $P_n$ , harus ditentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk *lentur*

$$P_n = F_{cr} A_g \tag{8}$$

Dimana :

$F_{cr}$  : Tegangan kritis  $A_g$  : Luas Penampang bruto

Nilai Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) ditentukan sebagai berikut

$$\text{Bila } \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Qf_y}} \quad (\text{atau } \frac{Qf_y}{F_e} \leq 2,25) \quad (9)$$

Maka

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{f_y}{F_e} \right] f_y \quad (10)$$

$$\text{Bila } \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{Qf_y}} \quad (\text{atau } \frac{Qf_y}{F_e} > 2,25) \quad (11)$$

Maka

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (12)$$

Dimana :

$Q$  : faktor reduksi neto untuk menghitung semua elemen tekan langsing

: 1,0 untuk komponen struktur tanpa elemen langsing

:  $Q_s Q_a$  untuk komponen struktur dengan penampang elemen langsing

Catatan : untuk penampang melintang yang hanya terdiri dari elemen langsing tidak diperkaku,  $Q = Q_s$  ( $Q_a = 1,0$ ). Untuk penampang melintang yang hanya terdiri dari elemen langsing diperkaku  $Q = Q_a$  ( $Q_s = 1,0$ ). Untuk penampang melintang yang terdiri dari elemen langsing diperkaku dan tidak diperkaku  $Q = Q_s Q_a$ . Untuk penampang melintang yang terdiri dari beberapa elemen langsing tidak diperkaku, hal yang konservatif untuk penggunaan  $Q_s$  terkecil dari elemen langsing lebih dalam penentuan kekuatan komponen struktur untuk tekan murni.

c. Elemen Langsing Tidak Diperkaku ( $Q_s$ )

Faktor reduksi  $Q_s$  untuk elemen langsing tidak diperkaku didefinisikan sebagai berikut :

Untuk sayap, baja siku dan pelat yang diproyeksikan dari kolom canai panas atau komponen struktur tekan lainnya :

$$\text{Bila } \frac{b}{t} \leq 0,56 \sqrt{E/f_y} \quad (13)$$

$$Q_s = 1,0 \quad (14)$$

$$\text{Bila } 0,56 \sqrt{E/f_y} < \frac{b}{t} < 1,03 \sqrt{E/f_y} \quad (15)$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{f_y/E} \quad (16)$$

$$\text{Bila } \frac{b}{t} \geq 1,03 \sqrt{E/f_y} \quad (17)$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{F_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \quad (18)$$

Dimana :

$Q_s$  : Faktor Reduksi

$b$  : Setengah lebar sayap profil (mm)

$E$  : Modulus Elastisitas (MPa)

$t$  : Tebal sayap profil (mm)

$f_y$  : Tegangan Leleh Baja (MPa)

d. Elemen Langsing Diperkaku, ( $Q_a$ )

Faktor reduksi  $Q_a$  untuk elemen langsing diperkaku didefinisikan sebagai :

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g} \tag{19}$$

Keterangan :

$A_g$  : luas bruto penampang melintang komponen struktur ( $\text{mm}^2$ )

$A$  : jumlah dari luas efektif penampang melintang berdasarkan lebar efektif tereduksi,  $b_e$  ( $\text{mm}^2$ )

Untuk elemen langsing yang ditekan secara merata dengan  $\frac{b}{t} \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f}}$ ,

$$b_e = 1,92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[ 1 - \frac{0,34}{b/t} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \tag{20}$$

Dimana :

$f$  diambil sebagai  $f_{cr}$  yang dihitung berdasarkan  $Q = 1,0$

Untuk penampang bundar yang dibebani secara aksial :

$$\text{Bila } 0,11 \frac{E}{f_y} < \frac{D}{t} < 0,45 \frac{E}{f_y} \tag{21}$$

$$Q = Q_a = \frac{0,38 E}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3} \tag{22}$$

Dimana :

$Q_a$  : Faktor Reduksi

$E$  : Modulus Elastisitas Profil Baja (MPa)

$f_y$  : Tegangan Leleh Baja (MPa)

$D$  : diameter terluar dari profil pipa (mm)

$t$  : ketebalan dinding (mm)

**Sifat Mekanis Baja Struktural**

Sifat mekanis baja struktural seperti yang diisyarakan dalam SNI 1729-2002 (BSN, 2002) untuk mutu baja struktural dapat diambil sesuai dengan Tabel 2. Sifat mekanis baja struktural lainnya yang diatur dalam SNI 1729-2002 antara lain: Modulus elastisitas :  $E = 200.000$  MPa, Modulus geser :  $G = 80.000$  MPa, Nisbah poisson :  $\mu = 0,3$  dan Koefisien pemuaian :  $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Tabel 2. Sifat Mekanis Baja Struktural (BSN, 2002)

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Dalam penggunaannya pada SAP 2000, mutu material baja yang diperhitungkan bukan hanya tegangan putus minimum ( $f_u$ ) dan tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) tetapi dibutuhkan juga *Expected yield stress* ( $f_{ye}$ ) dan *Expected tensile stress* ( $f_{ue}$ ) dimana dalam tabel 5-3 pada FEMA (2000)

besarnya nilai *Expected yield stress* ( $f_{ye}$ ) adalah sebesar 1,1 dari nilai *minimum yield stress* ( $f_y$ ) dan besarnya nilai *Expected tensile stress* ( $f_{ue}$ ) adalah sebesar 1,1 dari nilai *minimum tensile stress* ( $f_u$ ). mutu baja yang dipakai dalam SAP 2000 sesuai dengan tabel 3 berikut :

Tabel 3. Mutu Baja Yang Dipakai

	Mutu 1 (MPa)	Mutu 2 (MPa)
<i>Minimum yield stress</i> ( $f_y$ )	240	410
<i>Minimum tensile stress</i> ( $f_u$ )	370	550
<i>Expected yield stress</i> ( $f_{ye}$ )	264	451
<i>Expected tensile stress</i> ( $f_{ue}$ )	407	605

**Structure Analysis Program (SAP 2000)**

*Structure Analysis Program* (SAP) 2000 adalah salah satu program analisis struktur berbasis *finite element method* yang diproduksi oleh perusahaan *Computers and Structures, Inc* (CSI). Sama seperti namanya, program ini diciptakan untuk membantu memudahkan para insinyur dalam menganalisis struktur, terlebih struktur yang rumit.

**METODE PENELITIAN**

**Spesimen Penelitian**

Dalam penelitian ini dimodelkan struktur kolom dimana kolom memiliki perletakan bawah berupa perletakan sendi dan perletakan atas berupa sendi dengan d.o.f arah vertikal bebas.

**Pemodelan Spesimen**

Spesimen yang dimodelkan menggunakan profil WF dan pipa dari tabel konstruksi baja (Gunawan, 1988) dengan variasi mutu 240 MPa dan 410 MPa seperti dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemodelan Spesimen

Parameter	Profil WF	Profil Pipa
<b>Mutu Baja 240 MPa</b>	WF 100 x 100 x 6 x 8 mm	O 21,7 x 2,0 mm
	WF 250 x 125 x 6 x 9 mm	O 76,3 x 3,2 mm
	WF 400 x 200 x 8 x 13 mm	O 139,8 x 6,0 mm
	WF 890 x 299 x 15 x 23 mm	O 165,2 x 5,0 mm
	WF 900 x 300 x 16 x 28 mm	O 318,5 x 7,0 mm
<b>Mutu Baja 410 MPa</b>	WF 100 x 100 x 6 x 8 mm	O 21,7 x 2,0 mm
	WF 250 x 125 x 6 x 9 mm	O 76,3 x 3,2 mm
	WF 400 x 200 x 8 x 13 mm	O 139,8 x 6,0 mm
	WF 890 x 299 x 15 x 23 mm	O 165,2 x 5,0 mm
	WF 900 x 300 x 16 x 28 mm	O 318,5 x 7,0 mm

**Teknik Analisis Data**

Data - data yang ada baik data primer dan sekunder kemudian dianalisa dengan tahapan sebagai berikut :

1. Pemodelan struktur kolom sesuai kondisi metode DAM pada program SAP2000 dengan data yang ada
2. Dilakukan analisis menggunakan cara tekuk elastis pada SAP 2000 untuk mendapatkan data kapasitas penampang kolom baja
3. Melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus pada *MsExcel* berdasarkan SNI 1729:2015 untuk mengetahui kapasitas aksial penampang kolom baja.
4. Dilakukan perbandingan terhadap cara tekuk elastis pada SAP 2000 dan perhitungan SNI 1729:2015

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Menggunakan SNI 1729:2015 (BSN, 2015)

Profil yang dianalisis adalah profil dengan usulan sesuai dengan Tabel 3. dengan mutu 240 MPa dan 410 MPa. Dalam perhitungan ini akan ditampilkan analisis untuk salah satu profil yaitu WF 100 x 100 x 6 x 8 mm dengan mutu 240 MPa, Berikut adalah detail penampang profil WF yang dihitung

Tabel 4. Usulan Profil Contoh Untuk Analisis (Gunawan, 1988)

Dimensi Penampang				Luas Penampang cm <sup>2</sup>	Berat Volume kg/m	Momen Inersia		Radius Girasi		Modulus Penampang	
H Mm	B mm	d mm	t mm			i <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	i <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>x</sub> cm	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>
100	100	6	8	21,90	17,20	383	134	4,18	2,47	76,50	26,70

#### a. Menentukan Klasifikasi Penampang

Komponen struktur kolom (sayap dan badan) perlu di tentukan terlebih dahulu apakah tergolong elemen langsing atau tak langsing. untuk sayap penampang adalah b/t yaitu setengah dari lebar sayap (b) dan tebal sayap (t)

$$b/t = (0,5 \times 100)/8 = 6,25$$

Nilai b/t kemudian dibandingkan dengan rumus pada Tabel 2.1 dimana nilai variabel yang dipakai adalah modulus elastisitas baja (E) 200.000 MPa dan mutu baja (f<sub>y</sub>) 240 MPa. Sehingga didapatkan

$$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 16,16$$

Karena nilai b/t lebih kecil batas kelangsingan elemen maka komponen sayap profil dikategorikan sebagai elemen tak langsing.

Untuk badan profil kelangsingan elemen yang dihitung adalah :

$$h/t_w = (H - 2t_f)/t_w = (100 - 2 \times 8)/6 = 14,00$$

Nilai h/t<sub>w</sub> dibandingkan dengan syarat batas yaitu sebagai berikut :

$$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 43,01$$

Karena nilai h/t<sub>w</sub> lebih kecil batas kelangsingan elemen maka komponen badan profil juga dikategorikan sebagai elemen tak langsing. Hal ini berarti struktur kolom adalah struktur tanpa elemen langsing.

#### b. Menghitung Besar Tegangan Kritis

Berbeda dengan langkah sebelumnya dimana kelangsingan yang dihitung hanyalah kelangsingan komponen penampang yaitu badan dan sayap, pada tahap ini kelangsingan dihitung sebagai suatu struktur lokal. Nilai kelangsingan struktur ini yang nanti dipakai sebagai parameter terhadap kapasitas aksial penampang. Nilai K yang dipakai sesuai metode DAM adalah K=1.

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 850}{2,47} = 344,13$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  yaitu  $344,13 > 135,97$ , maka untuk perhitungan tegangan kritis digunakan rumus 2.7 dan 2.8

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{3,14^2 \times 200000}{\left(\frac{1 \times 850}{2,47}\right)^2} = 16,65 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,877 F_e \\ &= 0,877 \times 16,65 \\ &= 14,60 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### c. Kapasitas Aksial Penampang Terfaktor

Besarnya kapasitas aksial penampang terfaktor kolom adalah

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 14,60 \times 2190 \\ &= 31,981 \text{ kN} \\ \phi P_n &= 0,9 \times 31,981 \\ &= 28,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama maka didapatkan hasil berupa kapasitas aksial penampang terfaktor pada tiap usulan profil.

## Analisis Menggunakan SAP 2000

### 1. Pembuatan Model

Model untuk profil WF dibuat sebanyak 10 model dengan rincian seperti pada Tabel 3.1 yaitu 5 profil WF masing-masing dengan mutu 240 MPa dan 410 MPa. Setiap model dibuat memiliki tinggi 8,5 m dengan *restraint* pada tumpuan bawah berupa sendi (d.o.f yang di-*restraint* adalah  $\delta_x=1, \delta_y=1, \delta_z=1, \theta_x=0, \theta_y=0, \theta_z=0$ ) dan tumpuan atas kolom adalah sendi tapi d.o.f arah vertikal bebas ( $\delta_x=1, \delta_y=1, \delta_z=0, \theta_x=1, \theta_y=1, \theta_z=1$ ) dimana kode 1 adalah kondisi *restraints* sedang 0 adalah kondisi bebas.

### 2. Input Material

Material yang digunakan sesuai dengan profil pada Tabel 3 dengan sifat mekanis baja yaitu modulus elastisitas 200.000 MPa, modulus geser 80.000 MPa, *poissonratio* 0,3, koefisien pemuaian  $12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ .

### 3. Input beban dan load case

Pada bagian atas dari struktur kolom dimasukan beban berupa beban terpusat vertikal berorientasi ke bawah sebesar 1 kN ( $P_z = - 1 \text{ kN}$ ). Opsi *elastic-buckling* juga diaktifkan dalam *loadcase* ini dan menghilangkan *loadcase* yang lain. Perlu diingat juga bahwa proram SAP akan menganalisis model menggunakan metode numerik maka agar mencapai hasil yang

mendekati eksak maka struktur kolom akan dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang disebut *automaticframemesh*. Minimum *framemesh* yang dipakai adalah 10 bagian.

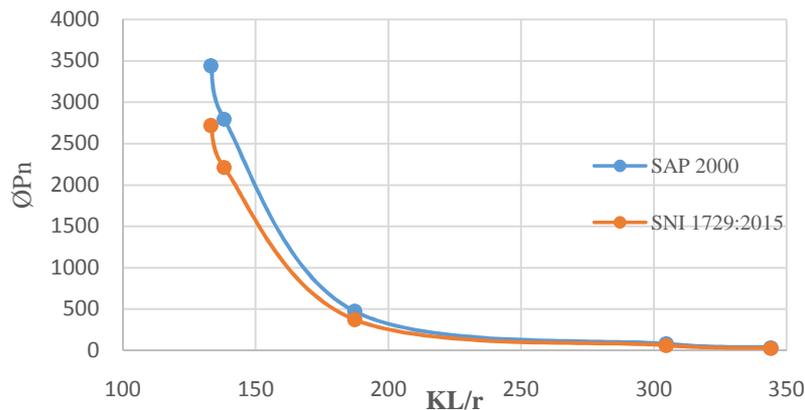
4. Analisis tekuk elastis

Setelah struktur dan beban dimodelkan maka selanjutnya struktur dianalisis untuk mengetahui tekuk kritis yang terjadi dimana pada *analysisoption* dipakai *spaceframe*. Hasil dari analisis ini berupa mode-mode dengan besarnya *scalefactor*. Dari semua mode hasil analisis, dipakai mode dengan *scalefactor* terkecil (*mode 1*) untuk menentukan besar tekuk kritis struktur kolom.

Hasil analisis dari SAP 2000 yang dipakai adalah *mode 1* dengan *scale factor* terkecil. Berdasarkan hasil analisis untuk memperoleh kapasitas aksial penampang sesuai kelangsingan menggunakan analisis pada SAP 2000 dan perhitungan SNI 1729:2015 maka dapat dibuat rekapitulasi perbandingan kapasitas aksial penampang.

Tabel 5. Rekapitulasi Perbandingan Kapasitas Aksial Penampang Profil WF Mutu 240 MPa

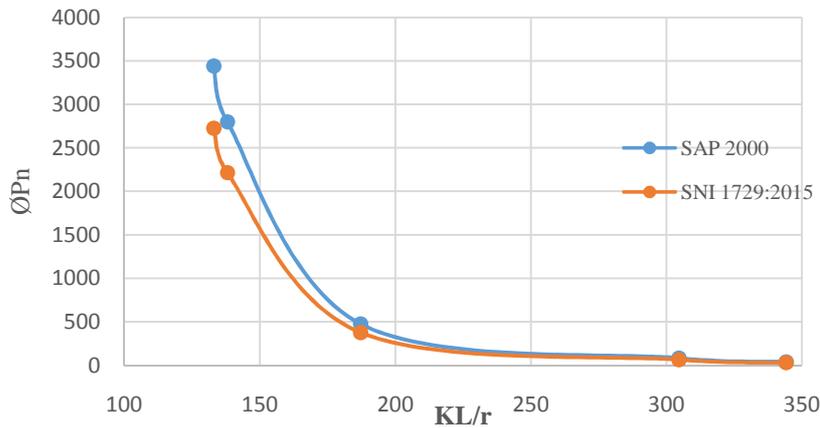
KL/r	Mutu 240 MPa			Mutu 410 MPa		
	Kuat Aksial Penampang (MPa)		Perbandingan (%)	Kuat Aksial Penampang (MPa)		Perbandingan (%)
	SAP 2000	SNI 1729:2015		SAP 2000	SNI 1729:2015	
344,13	36,456	28,783	126,661	36,456	28,782	126,661
304,659	80,112	63,151	126,858	80,112	63,151	126,858
187,225	473,333	373,423	126,755	473,334	373,423	126,755
137,987	2797,203	2214,440	126,316	2797,203	2214,440	126,317
133,02	3439,396	2716,894	126,593	3439,396	2725,064	126,213



Gambar 1. Grafik Perbandingan Kapasitas Aksial Penampang Profil WF Mutu 240 MPa Terhadap Kelangsingan Kolom Baja

Kuat tekan batas teoritis menggunakan rumus eksak pada SNI 1729:2015 menunjukkan pola yang sama dengan hasil numerik daripada SAP 2000 yaitu semakin besar kelangsingan maka kuat tekan batas akan cenderung menurun. Hasil dari kedua analisis memiliki perbedaan dimana hasil analisis SAP 2000 selalu lebih besar, dengan perbandingan terhadap SNI 1729:2015 antara 126,316% - 126,858%.

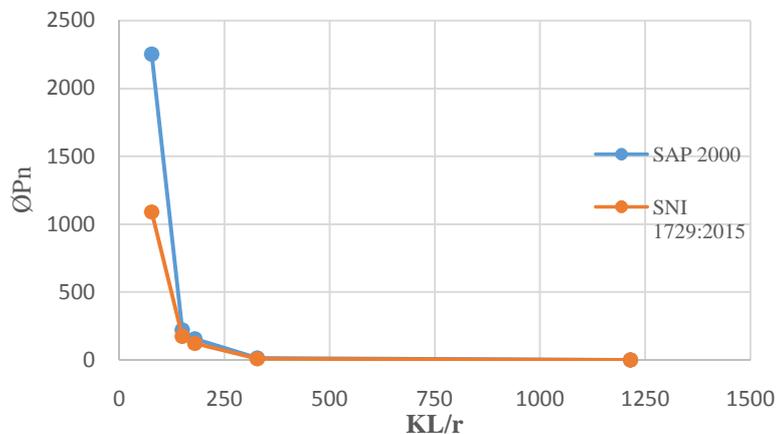
Kondisi untuk profil WF dengan mutu 240 MPa dimana kekuatan struktur yang semakin mengecil seiring bertambah besarnya kelangsingan kolom juga terjadi pada profil WF mutu 410 MPa. Kuat tekan batas teoritis menggunakan rumus eksak pada SNI 1729:2015 juga menunjukkan hasil lebih kecil daripada metode numerik hasil analisis program SAP 2000. Seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Kapasitas Aksial Penampang Profil WF Mutu 410 MPa Terhadap Kelangsingan Kolom Baja

Tabel 6. Rekapitulasi Perbandingan Kapasitas Aksial Penampang Profil Pipa

KL/r	Mutu 240 MPa			Mutu 410 MPa		
	Kapasitas Aksial Penampang (MPa)		Perbandingan (%)	Kapasitas Aksial Penampang (MPa)		Perbandingan (%)
	SAP 2000	SNI 1729:2015		SAP 2000	SNI 1729:2015	
1214,29	0,166	0,131	126,828	0,166	0,131	126,828
328,19	13,430	10,620	126,464	13,430	10,620	126,464
179,32	154,264	122,066	126,377	154,264	122,066	126,377
149,91	220,271	174,249	126,412	220,271	174,249	126,412
77,27	2251,919	1091,549	206,305	2251,919	1503,295	149,799

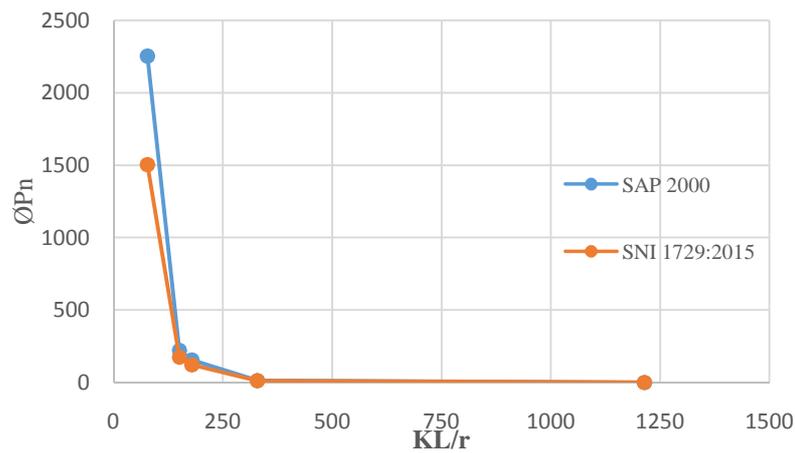


Gambar 3. Grafik Perbandingan Kapasitas Aksial Penampang Profil Pipa Mutu 240 MPa Terhadap Kelangsingan Kolom Baja

Hasil analisis pada profil WF dimana kekuatan struktur cenderung mengecil saat kelangsingan bertambah besar juga terjadi pada profil pipa baik pada mutu 240 MPa (Gambar 3) maupun pada mutu 410 MPa (Gambar 4) hal ini berarti hasil analisis dari keempat variabel utama yang diuji menunjukkan hasil yang konstan.

### Perbandingan Efisiensi SAP 2000 Terhadap SNI 1729:2015

Berdasarkan hasil analisis, sesuai Tabel 5 yang menyatakan hubungan kekuatan penampang berdasarkan mutu dapat dilihat bahwa kapasitas aksial penampang kolom baja untuk mutu 240 MPa dan 410 MPa berdasarkan SNI 1729:2015 bernilai sama besar pada kondisi dimana kelangsingan kolom besar sedangkan pada kondisi kelangsingan kecil terdapat perbedaan nilai.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Kapasitas Aksial Penampang Profil Pipa Mutu 410 MPa Terhadap Kelangsingan Kolom Baja

Hal ini berarti pada kondisi kelangsingan besar ( $KL/r \geq 4,71\sqrt{E/f_y}$ ) mutu profil baja yang dipakai untuk kolom dengan kelangsingan besar dianggap tidak memberikan pengaruh terhadap kekuatan struktur. Pada kondisi kelangsingan besar struktur akan mengalami keruntuhan (tekuk) bukan disebabkan oleh lemahnya kekuatan material tetapi oleh kondisi geometri struktur yang terlalu langsing. Beban yang bekerja dapat membuat struktur mengalami tekuk di bawah kondisi lelehnya. Pada kondisi kelangsingan kecil ( $KL/r < 4,71\sqrt{E/f_y}$ ) terdapat perbedaan kapasitas aksial penampang dimana struktur dengan mutu 410 MPa memiliki nilai yang lebih besar daripada mutu 240 MPa, hal ini berarti mutu baja diperhitungkan dalam menentukan kapasitas aksial penampang.

Pada hasil analisis SAP 2000 terlihat bahwa tidak ada perbedaan antara hasil analisis untuk mutu 240 MPa dan 410 MPa. Hal ini berarti pada analisis tersebut mutu baja dianggap tidak mempengaruhi kekuatan struktur. Hasil ini disebabkan oleh metode analisis yang digunakan pada SAP 2000 yaitu analisis tekuk elastis merupakan metode sederhana dimana pada kondisi ini struktur dianggap adalah struktur langsing yang akan runtuh akibat lemahnya geometri struktur. Berkaitan dengan hasil ini maka dapat disimpulkan bahwa hasil analisis SAP 2000 menggunakan metode sederhana tekuk elastis ini kurang kritis jika dibandingkan terhadap SNI 1729:2015 karena pada metode tekuk elastis SAP 2000 struktur kolom selalu dianggap struktur kelangsingan besar berbeda dengan SNI yang masih membaginya menjadi struktur kelangsingan besar dan kelangsingan kecil berdasarkan syarat batas  $4,71\sqrt{E/f_y}$ .

Hasil analisis pada Tabel 6 untuk profil pipa juga menunjukkan hasil yang sama dengan hasil perhitungan untuk profil WF. Pada hasil analisis SAP 2000 didapat kapasitas aksial bernilai sama besar pada mutu baja yang berbeda namun pada hasil perhitungan SNI 1729:2015 untuk kelangsingan  $KL/r \geq 4,71\sqrt{E/f_y}$  didapat hasil yang sama baik mutu 240 maupun 410 MPa dan untuk kelangsingan  $KL/r < 4,71\sqrt{E/f_y}$  didapat hasil yang berbeda.

Berdasarkan kemudahan pengerjaan, Suatu peraturan konstruksi umumnya dikenal dengan kerumitan dalam memahaminya. Tak terkecuali dengan peraturan SNI 1729:2015, dimana dalam perhitungan kapasitas aksial penampang kolom baja terasa agak sulit dilakukan sebab banyaknya rujukan baik rumus, simbol, syarat maupun kondisi yang harus diperhatikan. Selain itu untuk mendapat kapasitas aksial penampang dilakukan dengan cara manual. Hal ini lah yang membuat SNI 1729:2015 terasa rumit untuk digunakan. Berbeda dengan SAP 2000 dimana langkah-langkah analisis metode tekuk elastis yang dilakukan sesuai dengan literturnya mudah diikuti hanya dengan memasukan data yang dibutuhkan dan menjalankan perintah. Hasil analisispun didapatkan secara otomatis dengan menjalankan perintah *run analysis*.

Berdasarkan perbandingan di atas dapat disimpulkan bahwa dalam hal pengerjaan, analisis tekuk elastis pada SAP 2000 lebih mudah digunakan daripada SNI 1729:2015 namun hasil yang

didapat pada SAP 2000 kurang dapat diandalkan disebabkan metode yang dipakai sangat sederhana sehingga hasilnya kurang kritis terutama dalam memperhitungkan kelangsingan struktur kolom berbeda dengan SNI 1729:2015 yang membagi kolom berdasarkan kelangsingan besar dan kecil. Perlu ditekankan bahwa hasil yang disimpulkan ini bergantung pada struktur yang dianalisis dimana pada penelitian ini struktur yang dianalisis adalah struktur kolom tertambat sederhana. Jika struktur yang dianalisis lebih kompleks ataupun menggunakan metode yang berbeda, hasil yang didapat bisa saja berbeda.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dibahas pada bab sebelumnya maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbandingan hasil perhitungan kapasitas aksial penampang kolom baja berdasarkan SAP 2000 dan SNI 1729:2015 :
  - a. Semakin besar kelangsingan struktur kolom baja maka kapasitas aksial penampang dari struktur kolom baja akan semakin menurun.
  - b. Hasil analisis SAP 2000 dengan cara analisis tekuk elastis menunjukkan hasil yang lebih besar daripada hasil perhitungan SNI 1729:2015 dimana pada profil WF kondisi kelangsingan besar ( $KL/r > 4,71\sqrt{E/f_y}$ ) perbandingannya adalah sekitar 126,316% - 126,858%.
  - c. Hasil analisis SAP 2000 dibandingkan terhadap SNI 1729:2015 juga menunjukkan hasil yang lebih besar pada profil pipa. Perbandingan yang konstan terdapat pada kondisi kelangsingan besar ( $KL/r > 4,71\sqrt{E/f_y}$ ) yaitu sekitar 126,412% – 126,828% sedangkan pada kondisi kelangsingan kecil menunjukkan perbandingan yang jauh lebih besar tergantung mutu baja yang dipakai.
2. Perbandingan efisiensi penggunaan *DirectAnalysisMethod* (DAM) pada SAP 2000 dan SNI 1729:2015 dalam menghitung kapasitas aksial penampang kolom :
  - a. Berdasarkan cara pengerjaan, metode analisis tekuk elastis pada SAP 2000 lebih mudah digunakan daripada menggunakan SNI 1729:2015.
  - b. Berdasarkan hasil analisis, SNI 1729:2015 memberikan hasil yang lebih dapat diandalkan karena membagi kolom untuk kelangsingan besar dan kecil sedangkan cara analisis tekuk elastis pada SAP 2000 menganggap kolom sebagai struktur dengan kelangsingan besar sehingga mutu baja tidak diperhitungkan dalam proses analisis.

## SARAN

Beberapa saran yang diberikan penulis terkait dengan penelitian ini antara lain :

1. Penelitian ini dapat juga dilakukan menggunakan program – program komputer yang lebih canggih daripada SAP 2000 seperti program ABAQUS, ADINA dan ANSYS.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk kasus yang lebih kompleks seperti memperhitungkan pengaruh deformasi dengan menggunakan metode analisis orde kedua dalam menghitung kuat tekan untuk kasus inelastis.
3. Untuk kasus sederhana seperti kolom tertambat sederhana yang dianalisis sebaiknya menggunakan SNI 1729:2015 karena lebih dapat diandalkan daripada cara tekuk elastis pada SAP 2000.

## DAFTAR PUSTAKA

AISC. 2010. *An American National Standard ANSI/AISC 360-10 : Load Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction, Inc.

- BSN. 2015. *SNI 1729:2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: BSN.
- BSN. 2002. *SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Dewobroto, W. 2015. *Peraturan Baja Terkini SNI 1729:2015 dan Direct Analysis Method*. Materi Seminar HASTAG VI: Seminar Nasional, Shourt Couse dan Expo Material Bangunan. Medan: USU Press, 1-28.
- FEMA. 2000. *FEMA 356 Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*. Washington DC: FEMA.
- Gunawan, R. 1988. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Kanisius.

