

Seminar dan Pameran HAKI (26-27 Juli 2011)
KONTRUKSI INDONESIA MELANGKAH KE MASA DEPAN
Flores Ballroom, Hotel Borobudur, Jakarta Pusat

Era Baru Perancangan Struktur Baja Berbasis Komputer Memakai *Direct Analysis Method (AISC 2010)*

Wiryanto Dewobroto



UPH
UNIVERSITAS PELITA HARAPAN

Trend Perkembangan Struktur Baja di **Indonesia**

- Struktur baja banyak keunggulannya, tapi di Indonesia **belum populer** (kecuali untuk industri / plant).
- Code baja : SNI 03 - 1729 – 2002 → relatif tertinggal, bahkan *code* desain baja *cold-formed* **belum ada**.
- Wajar ada wacana penerbitan *code* (peraturan) baru, yang konon berubah dan akan berkiblat ke Amerika, yaitu **AISC-LRFD**.



Trend Perkembangan Struktur Baja di Amerika

- *Steel code* terbaru Amerika telah terbit, **AISC 2010** (sebelumnya AISC 2005).
- Metode baru → *Direct Analysis Method (DAM)* untuk **analisis stabilitas** menggantikan metode *KL/r* atau *Effective Length Method (ELM)*.
- DAM → metode yang **berbasis komputer**, tidak memakai faktor **K** pada kelangsingan batang.
- Tetapi **rumus kuat penampang nominal** yang memakai faktor **K**, **tidak berubah**. Cukup diisi **K=1**.

Trend Perkembangan Struktur Baja di **dunia** pada umumnya

- Konsep semacam *Direct Analysis Method* ternyata telah dipakai negara-negara lain, seperti British, Canada, Australia, Hongkong.
- Amerika tertinggal, adopsi LRFD menggantikan ASD baru tahun 1991, padahal *limit-state-design* yang mirip LRFD telah ada di negara-negara lain.
→ Amerika konservatif !
- Jadi perubahan metode di Amerika dari **ELM** (*effective length method*) → **DAM** (*direct analysis method*) akibat **trend dunia yang telah berubah**.

Trend Perkembangan Struktur Baja di **dunia** pada umumnya

- Konsep semacam *Direct Analysis Method* ternyata telah dipakai negara-negara lain, seperti British, Canada, Australia, Hongkong
- **Bagaimana dengan Indonesia, inginkah mengikuti trend dunia ?**
- Jadi perubahan metode di Amerika dari **ELM** (*effective length method*) → **DAM** (*direct analysis method*) akibat trend dunia yang telah berubah.

PERANCANGAN STABILITAS

pada perencanaan struktur baja

- **Perancangan stabilitas struktur baja** adalah kombinasi analisis untuk menentukan kuat perlu penampang struktur dan mendesainnya agar mempunyai kekuatan mencukupi (AISC 2010).
- **AISC 2010** → **Direct Analysis Method (DAM)**, sedangkan metode lama Effective Length Method (ELM) dipindahkan ke Appendix.
- **AISC 2005** → **Effective Length Method (ELM)** sedangkan Direct Analysis Method (DAM) masih berupa metode baru alternatif di Appendix.

Mengapa Direct Analysis Method ?

- Mengatasi keterbatasan analisa struktur elastik yang tidak bisa mengakses stabilitas.
- Analisa struktur elastik dipakai untuk perancangan struktur baja selama ini, yaitu cara Effective Length Method (ELM) → cara **KL/r**.
- Cara KL/r pemakaiannya terbatas pada struktur dengan rasio pembesaran momen akibat perpindahan titik nodal, $\Delta_{2nd\ order} / \Delta_{1st\ order} \leq 1.5$ (AISC 2005).
- Sedangkan cara DAM tidak dibatasi oleh ketentuan di atas

Mengapa **Direct Analysis Method** ?

- Jika memakai DAM maka **pengaruh pembebanan** pada struktur **dapat ditentukan teliti** karena **telah memasukkan pengaruh geometry imperfection** dan **reduksi kekakuan** selama proses analisa struktur itu sendiri.

Mengapa **Direct Analysis Method** ?

- Jika memakai DAM maka pengaruh pembebanan pada struktur dapat ditentukan teliti karena telah memasukkan **pengaruh geometry imperfection** dan **reduksi kekakuan** selama proses analisa struktur itu sendiri.

Pernahkan anda memakai parameter-parameter di atas dalam **perhitungan secara langsung** perencanaan baja ?

Parameter penentu stabilitas struktur baja pada cara lama

- Jika mempelajari parameter perancangan batang tekan yang telah memperhitungkan kekuatan material (F_y) dan stabilitas (*buckling*), maka dengan mudah diketahui bahwa kekuatan batang tekan ditentukan oleh parameter E , F_y , KL/r dan A_g .

Parameter penentu stabilitas struktur baja pada cara lama

- Jika mempelajari parameter perancangan batang tekan yang telah memperhitungkan kekuatan material (F_y) dan stabilitas (*buckling*), maka dengan mudah diketahui bahwa kekuatan batang tekan ditentukan oleh parameter E , F_y , KL/r dan A_g .



Bahan material

Parameter penentu stabilitas struktur baja pada cara lama

- Jika mempelajari parameter perancangan batang tekan yang telah memperhitungkan kekuatan material (F_y) dan stabilitas (*buckling*), maka dengan mudah diketahui bahwa kekuatan batang tekan ditentukan oleh parameter E , F_y , KL/r dan A_g .

Bahan material

Kondisi geometrinya

Parameter penentu stabilitas struktur baja pada cara lama

- Jika mempelajari parameter perancangan batang tekan yang telah memperhitungkan kekuatan material (F_y) dan stabilitas (*buckling*), maka dengan mudah diketahui bahwa kekuatan batang tekan ditentukan oleh parameter E , F_y , KL/r dan A_g .

Bahan material

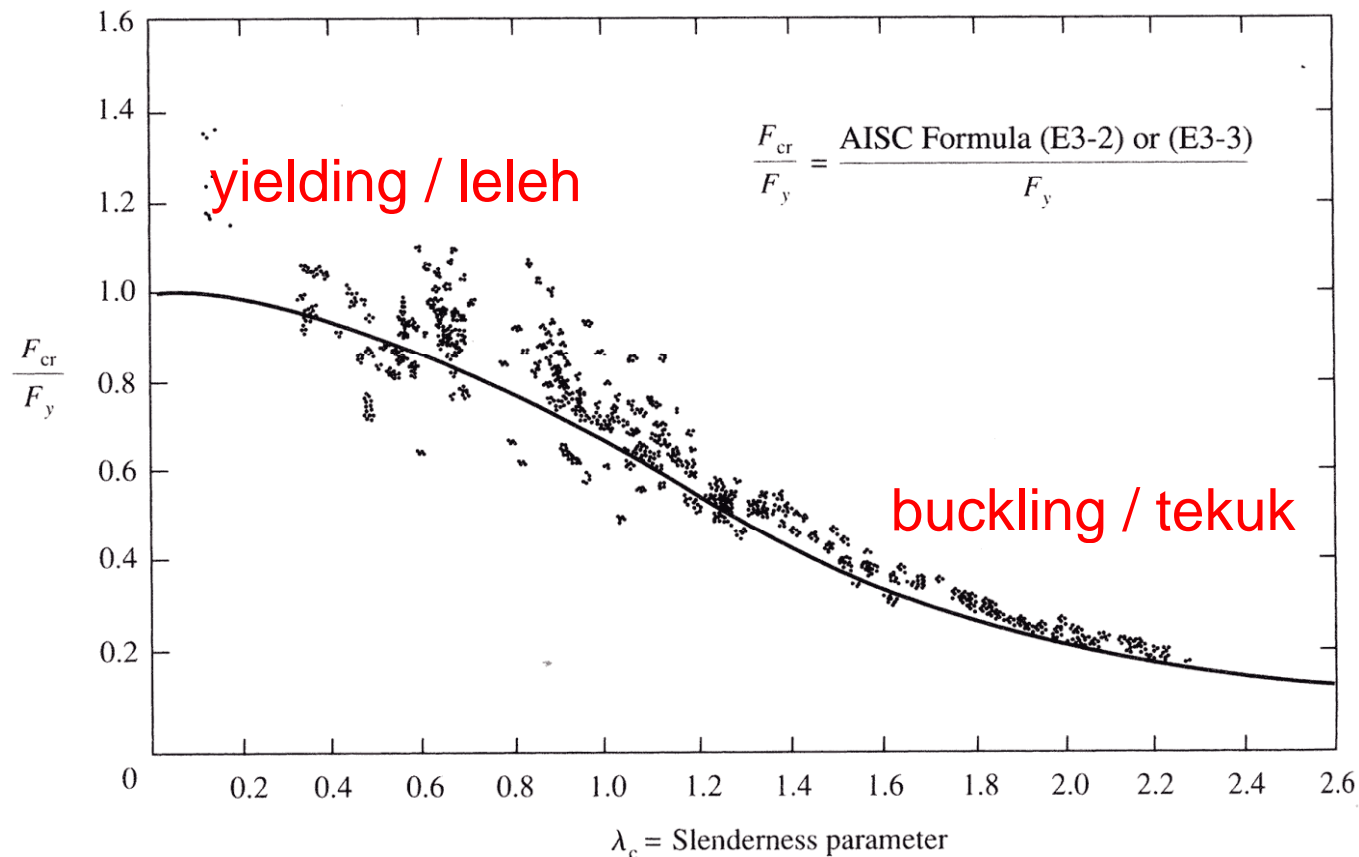
yielding / leleh

Kondisi geometrinya

buckling / tekuk

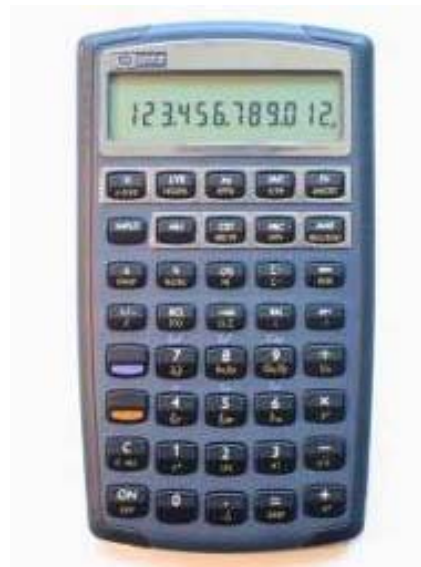
Parameter penentu stabilitas struktur baja pada cara lama

- Ternyata E , F_y , KL/r , A_g **bukanlah faktor utama.**
- Hanya **cocok** untuk rumus / kurva kapasitas **code** (Galambos 1998, Salmon et.al 2009, Ziemian 2010).



Parameter penentu stabilitas struktur baja pada cara lama

- Ternyata E , F_y , KL/r , A_g → strategi penyederhanaan untuk memprediksi kapasitas penampang tekan.
- Sederhana tapi berkorelasi memuaskan dengan data empiris hasil uji eksperimental.
- Ini perlu karena waktu penyusunannya belum bisa mengandalkan komputer, masih manual (kalkulator)



Parameter penentu stabilitas struktur baja pada **cara baru**

Saat ini era komputer →

- Ada dukungan komputer, jadi **cara penyederhanaan** → **sudah tidak relevan lagi**.
- Perlu tinjauan langsung ke **sumber masalah** agar dihasilkan **metode baru** yang **sesuai kemajuan teknologi** yang ada.



Parameter yang berpengaruh pada perilaku stabilitas elemen (AISC 2005)

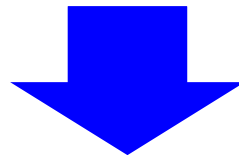
- Non-linieritas geometri;
- Sebaran plastisitas (residual stress);
- Kondisi batas elemen.

Itu **mempengaruhi deformasi** struktur saat dibebani, dan **berdampak** pada gaya-gaya internal.

Parameter yang berpengaruh pada perilaku stabilitas elemen (AISC 2005)

- Non-linieritas geometri;
- Sebaran plastisitas (residual stress);
- Kondisi batas elemen.

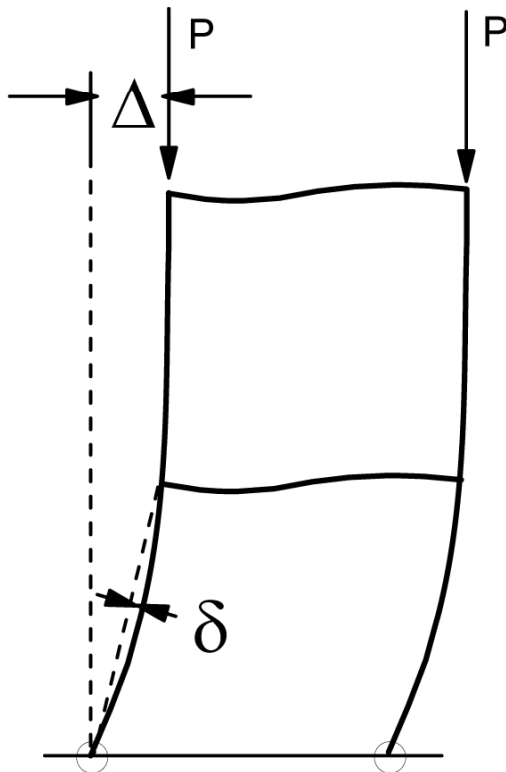
Itu **mempengaruhi deformasi** struktur saat dibebani, dan **berdampak** pada gaya-gaya internal.



Jadi harus dievaluasi **sekaligus** saat analisa struktur,
→ **tidak dapat diatasi** dengan analisa elastis biasa.

Non-linearitas geometri

- Struktur langsing \rightarrow deformasi berpengaruh \rightarrow 2nd order analysis \rightarrow keseimbangan setelah berdeformasi.
- *Second-order-effect*, yaitu $P-\delta$ dan $P-\Delta$ \rightarrow cara lama faktor pembesaran momen B_1 dan B_2 (AISC 2005).



$P-\Delta$ = Pengaruh beban yang bekerja pada struktur dengan titik nodal bergoyang.

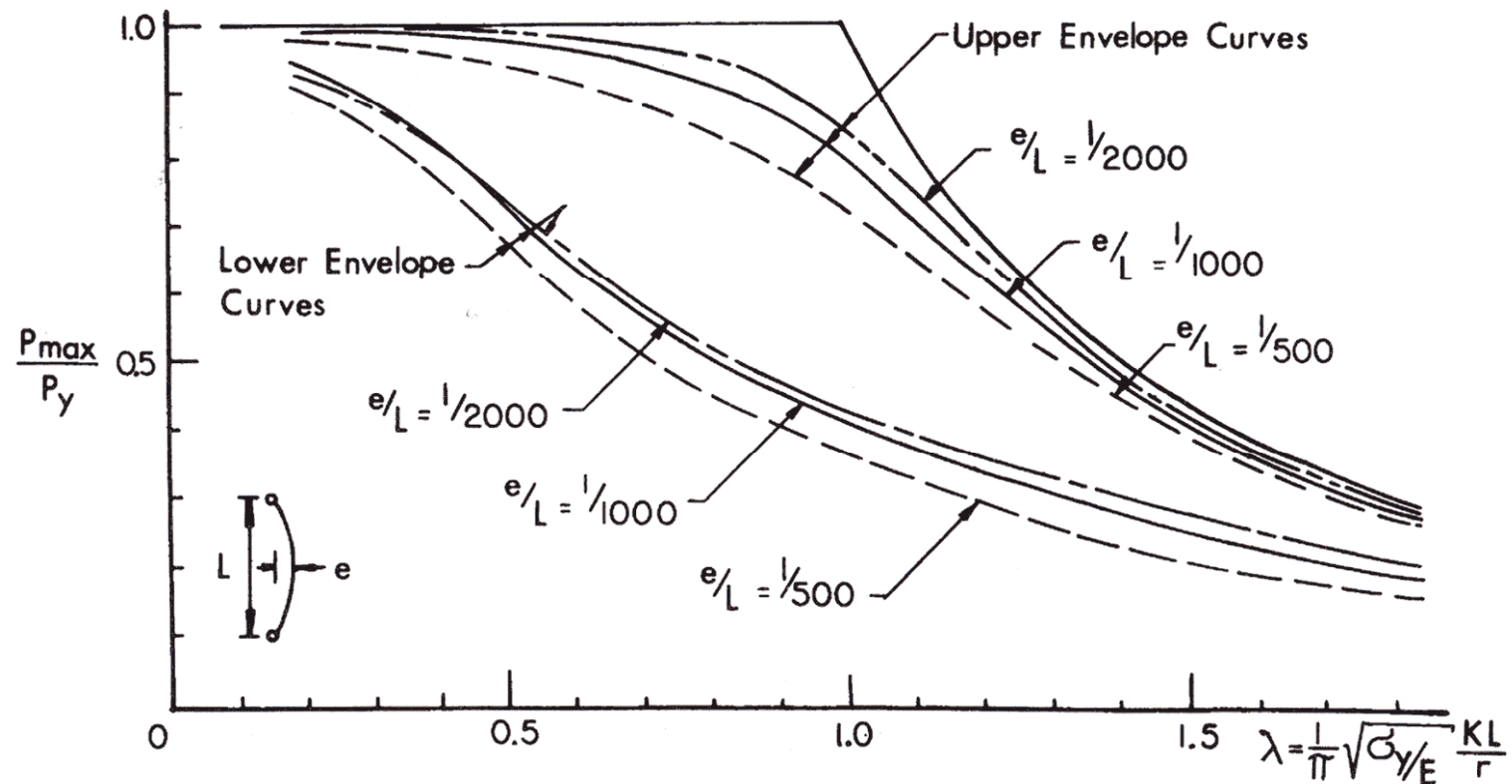
$P-\delta$ = Pengaruh beban yang bekerja pada batang antara titik-titik nodal, yang berubah bentuk.

Non-linieritas geometri

- Jika non-linier geometri signifikan → cacat geometri (*initial geometric imperfection*), yaitu
 - ketidak-lurusan batang (*member out-of-straightness*),
 - ketidak-tepatan rangka (*frame out-of-plumbness*), akibat kesalahan fabrikasi / toleransi pelaksanaanmenjadi berpengaruh.

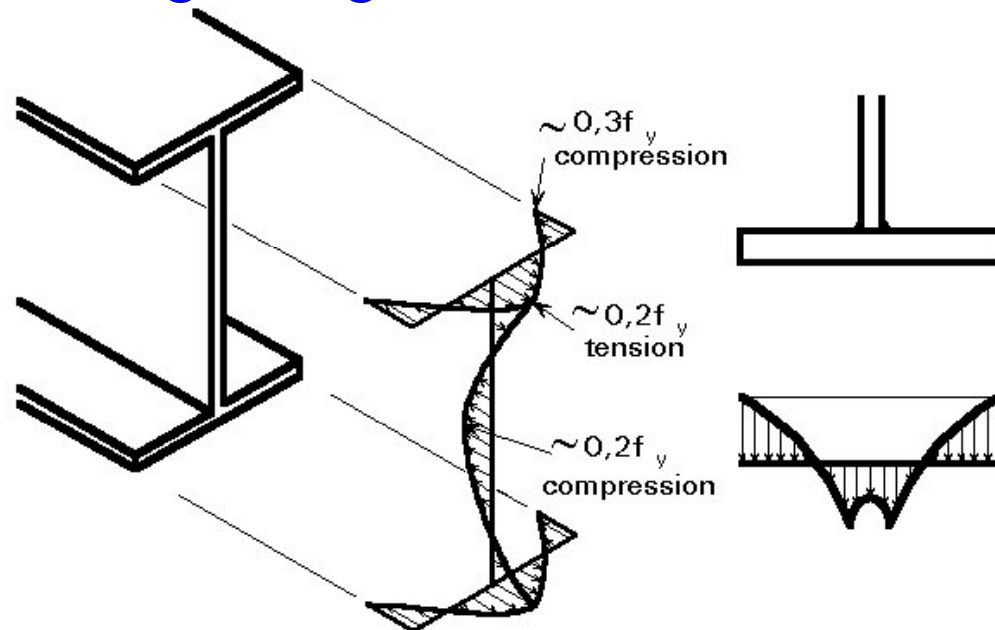
Non-linearitas geometri

- Jika non-linear geometri signifikan \rightarrow cacat geometri (*initial geometric imperfection*), yaitu
 - ketidak-lurusan batang (*member out-of-straightness*),
 - ketidak-tepatan rangka (*frame out-of-plumbness*), akibat kesalahan fabrikasi / toleransi pelaksanaan menjadi berpengaruh.



Sebaran plastisitas

- Elemen struktur baja umumnya berbentuk profil yang dihasilkan dari *proses hot-rolled* maupun *pengelasan*.
- Keduanya *meninggalkan tegangan sisa* pada penampang akibat proses pendinginan dan adanya restraint.
- Kondisi itu *mengurangi kekuatan elemen* akibat stabilitas.



Example of residual stresses due to hot-rolling

Example of residual stresses due to welding

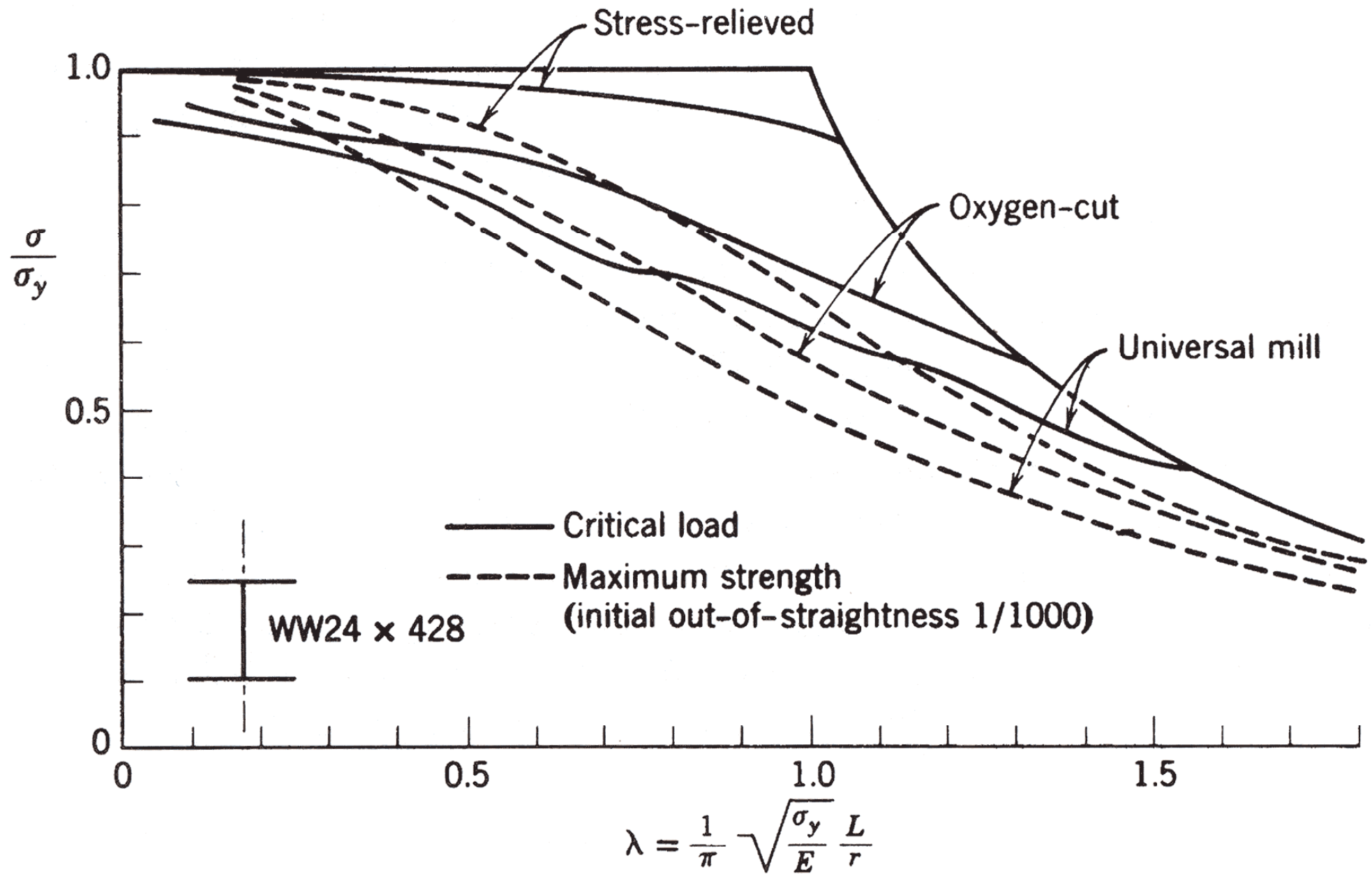


FIGURE 3.10 Column curves for heavy and light welded wide-flange shapes (Bjorhovde, 1972).

Source : Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures 6th Ed. (Ziemian 2010)

Kondisi batas elemen

Kekuatan batas elemen struktur ditentukan oleh satu atau lebih kondisi batasnya, seperti terjadinya

- kelelahan material,
- tekuk lokal,
- tekuk global berupa tekuk lentur, tekuk torsi maupun tekuk torsi-lentur yang tergantung kondisi penampang.

Kondisi batas elemen

Kekuatan batas elemen struktur ditentukan oleh satu atau lebih kondisi batasnya, seperti terjadinya

- kelelahan material,
- tekuk lokal,
- tekuk global berupa tekuk lentur, tekuk torsi maupun tekuk torsi-lentur yang tergantung kondisi penampang.



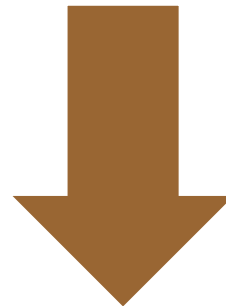
Ini telah diantisipasi juga pada metode yang lama, bagian ini tidak ada perubahan

Persyaratan analisis struktur untuk Direct Analysis Method

- *Direct Analysis Method* (DAM) adalah metode untuk **mengantisipasi keterbatasan** metode *Effective Length Method* (ELM).
- Akurasiya **ditentukan komputer** yang memenuhi syarat berikut :
 - Memperhitungkan **deformasi komponen-komponen struktur dan sambungan** yang mempengaruhi deformasi struktur keseluruhan.
 - Dapat menghitung gaya-gaya batang dengan **2nd order analysis** yang memasukkan pengaruh P- Δ dan P- δ

Pengaruh cacat bawaan (*initial imperfection*)

- Cacat bawaan, misal ketidak-lurusan batang akibat cacat produksi juga akibat toleransi pelaksanaan menimbulkan efek *destabilizing*.

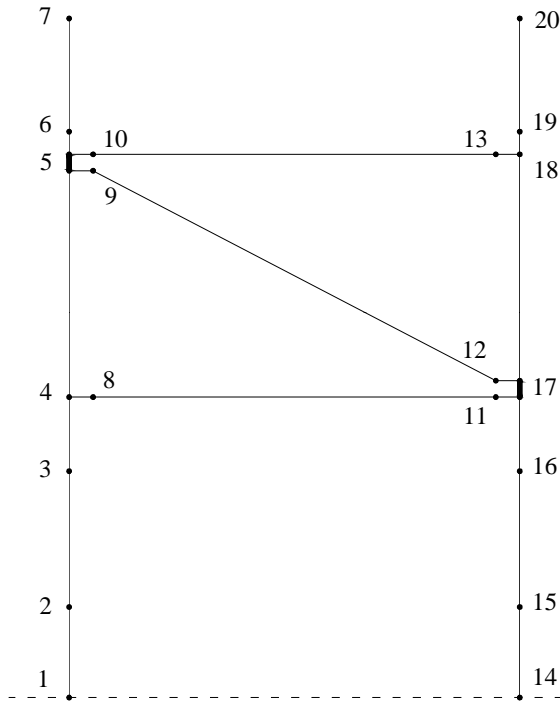


- diatasi melalui [1] pemodelan langsung pada geometri struktur, atau [2] pembebanan *notional* atau beban lateral ekuivalen dari sebagian prosentasi beban yang bekerja

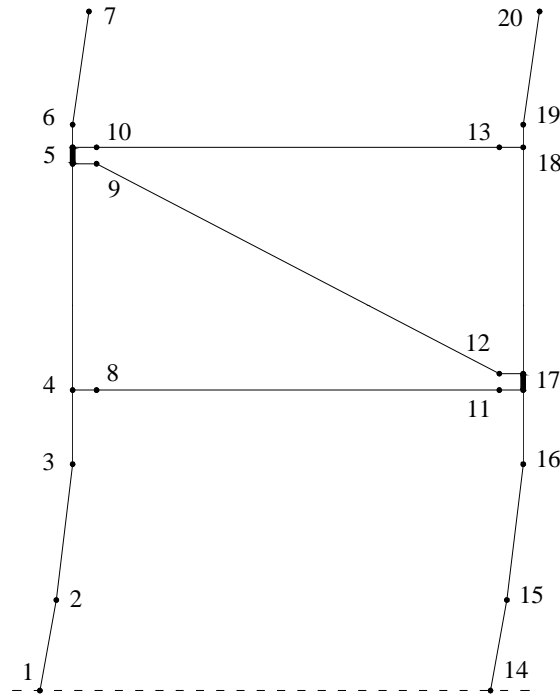
Penyelesaian dengan cara pemodelan langsung

- Langsung pada **titik nodal yang digeserkan**, besarnya diambil dari **toleransi maksimum** perencanaan atau pelaksanaan yang diijinkan.
- Pola penggeseran titik nodal dibuat sedemikian agar memberi **efek *destabilizing* terbesar**.
- Pola dapat mengikuti **pola lendutan dari pembebanan** atau **pola tekuk** yang mungkin terjadi.

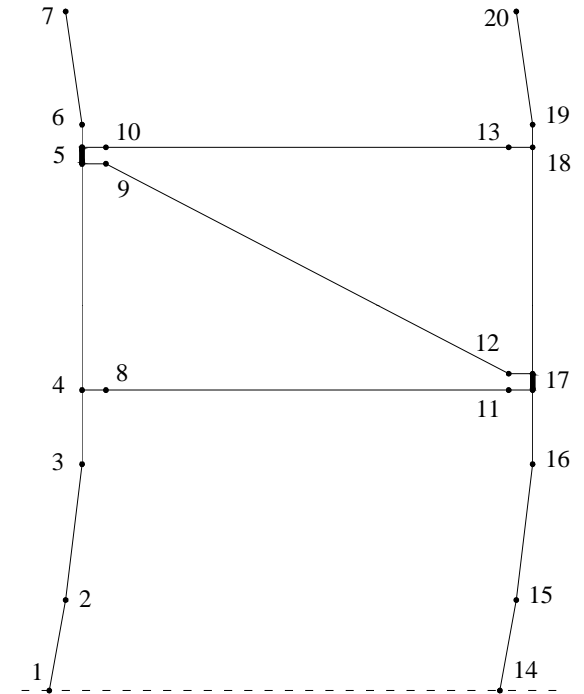
Penyelesaian dengan cara pemodelan langsung



a). Ideal



b). Imperfection tipe-1

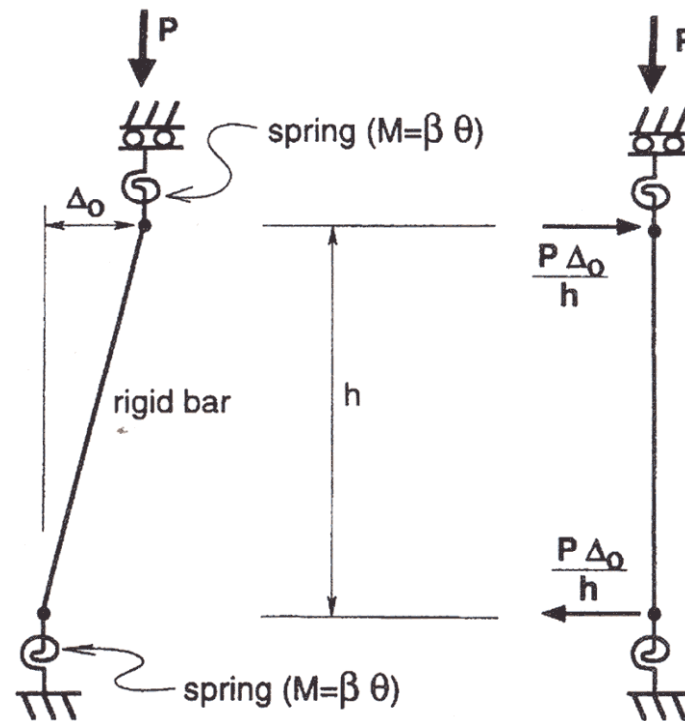


c). Imperfection tipe-2

Pemodelan langsung suatu initial geometry imperfection

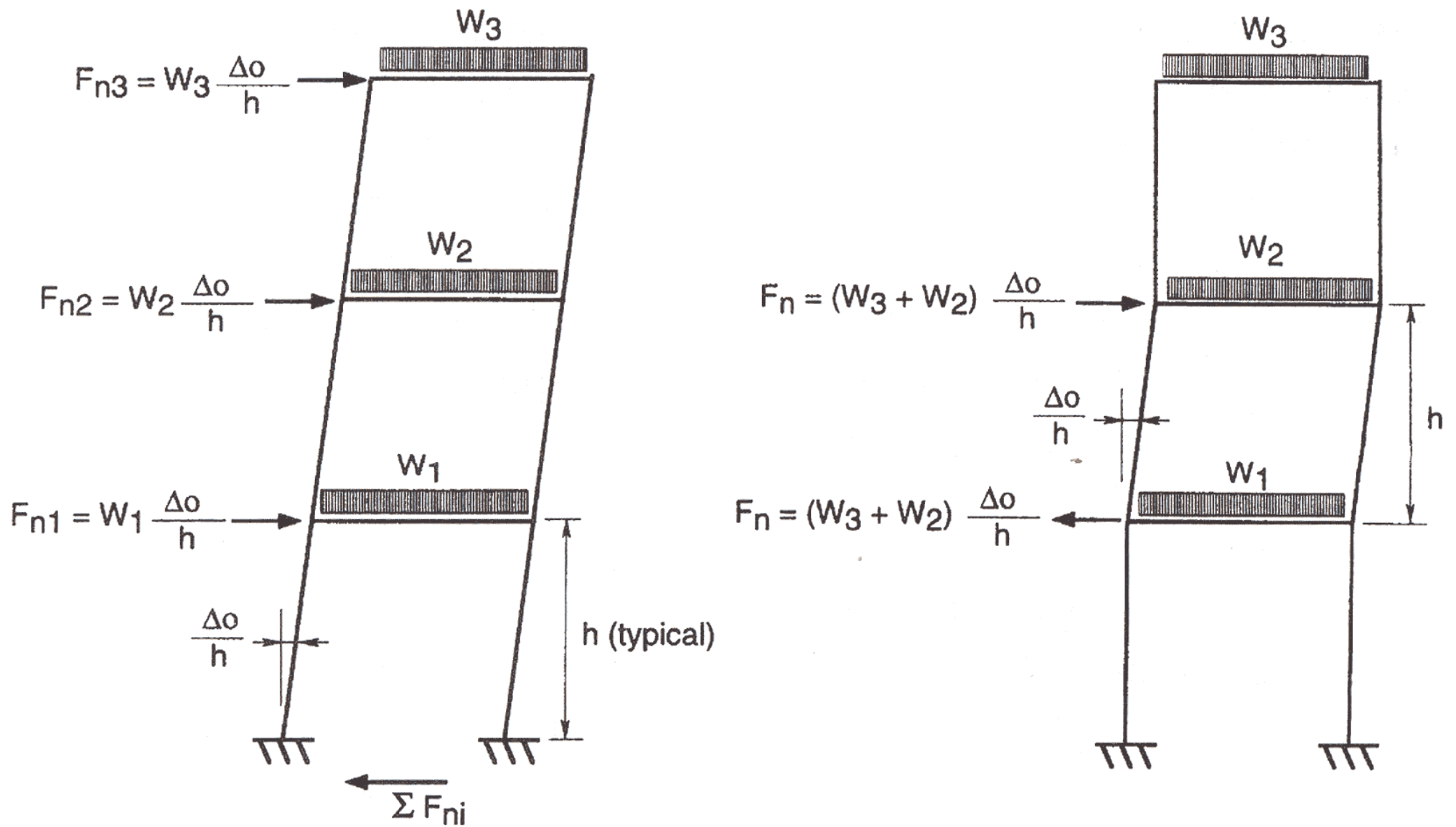
Beban notional

- Beban *notional* → **beban lateral** titik nodal semua level, **prosentasi beban vertikal** di level tersebut
- Diberikan pada **sistem struktur penahan beban gravitasi** melalui **rangka** atau **kolom vertikal** / **dinding** → simulasi cacat bawaan (*initial imperfection*).



(a) imperfect geometry (b) equivalent notional loads

FIGURE 16.10 Modeling of out-of-plumb imperfections with notional loads.



(a) uniform frame out-of-plumb

(b) isolated story out-of-plumb

FIGURE 16.11 Notional loads to simulate out-of-plumb imperfections.

Kriteria Pembebanan Notional

- Beban *notional* ditambahkan bersama-sama beban lateral lainnya, di semua kombinasi, kecuali yang memenuhi kriteria Section 2.2b(4) (AISC 2010).
- Besarnya beban *notional* adalah

$$N_i = 0.002Y_i \quad (\text{AISC 2010})$$

N_i adalah beban *notional* di level i

Y_i adalah beban gravitasi di level i dari hasil beban kombinasi cara LRFD

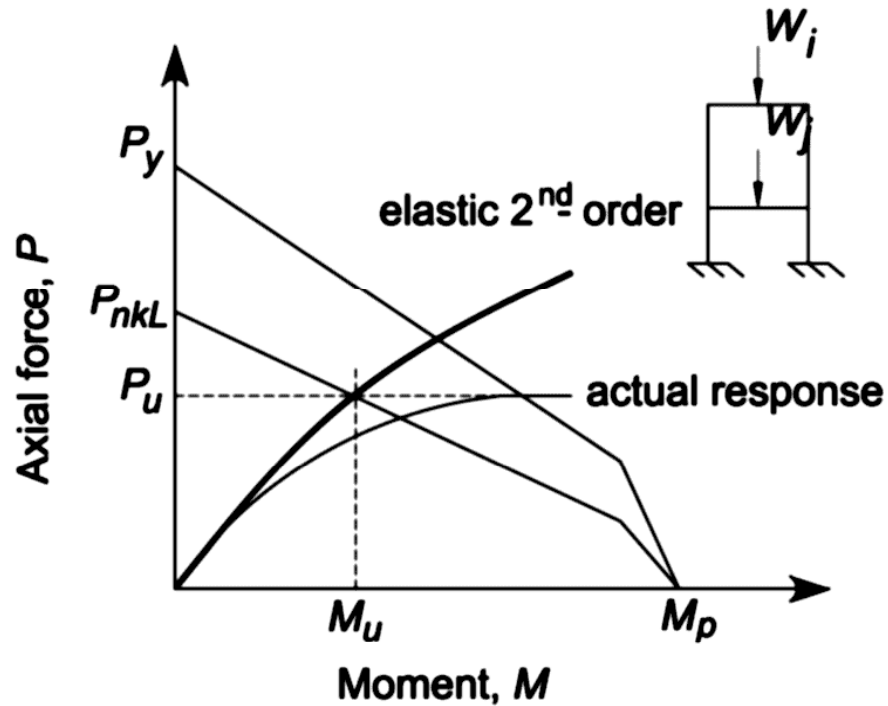
Penyesuaian kekakuan

- Terjadinya leleh setempat (*partial yielding*) akibat **tegangan sisa** (*hot rolled* atau *welded*) → pelemahan saat mendekati kondisi batas kekuatan.
- Akhirnya menghasilkan **efek destabilizing** seperti yang terjadi akibat adanya *geometry imperfection*.
- Direct Analysis Method mengatasi dengan faktor reduksi kekakuan (**$EI^* = 0.8\tau_b EI$** dan **$EA^* = 0.8EA$**)
- **Nilainya dari kalibrasi**, membandingkan dengan analisa distribusi plastisitas maupun **hasil uji test empiris** (Galambos 1998).

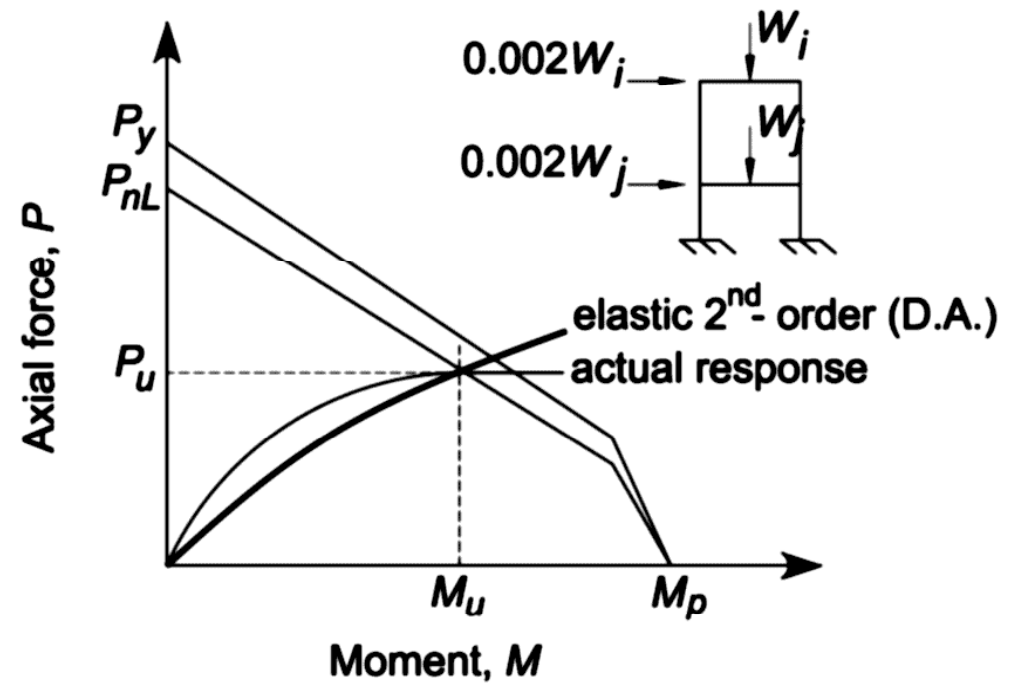
Penyesuaian kekakuan

- Faktor reduksi kekakuan **hanya berlaku untuk kondisi batas** kekuatan dan stabilitas struktur baja, dan tidak untuk perhitungan drift (pergeseran), lendutan, vibrasi dan penentuan periode getar.
- Untuk praktis, dimana $\tau_b = 1$, reduksi EI^* dan EA^* diberikan dengan **memodifikasi nilai E**.
- Untuk komputer program yang semi otomatis, perlu dipastikan bahwa reduksi **E hanya diterapkan pada analisa order-2**. Sedangkan E untuk perhitungan kuat nominal penampang tidak boleh dikurangi, saat menghitung tekuk torsi lateral balok dll.

Perbandingan kerja ELM dan DAM



(a) Effective length method



(b) Direct analysis method

Source : AISC 2010

Kuat nominal penampang

- Dalam Direct Analysis Method untuk perencanaan kuat nominal memakai prosedur biasa (lama)
- Sama seperti cara Effective Length Method yaitu Chapter E ~ I untuk penampang, atau Chapter J ~ K untuk sambungan (AISC 2005, 2010),
- Kecuali nilai faktor K pada kelangsingan batang (KL/r) diambil konstan sebesar $K=1$.

Esensi Direct Analysis Method (AISC 2010)

- Hanya bagian analisa struktur untuk menghitung gaya-gaya internal ultimate yang mengalami perubahan, sebagaimana terlihat di bawah:

Analisis mengikuti persyaratan DAM, **tidak bisa pakai** analisa struktur cara elastis biasa

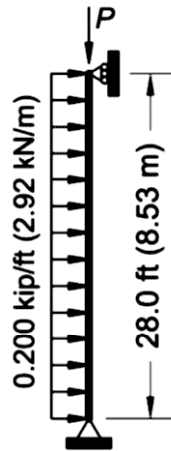
$$P_u \leq \phi P_n$$

Tidak berubah, kecuali ditetapkan bahwa $K=1$

Ketersediaan Program Komputer untuk *Second Order Analysis*

- DAM perlu program analisa struktur orde-2 yang teliti. Umumnya program analisa struktur komersil di pasaran mampu, tetapi adalah tanggung jawab insinyur memastikan sendiri (AISC 2010).
- AISC (2005, 2010) punya *benchmark uji banding* untuk valuasi apakah program mampu menghitung secara efek $P-\Delta$ dan $P-\delta$.
- Dalam uji perlu *beberapa beban aksial berbeda* sesuai beban tekuk.
- *Pengaruh meshing* perlu untuk mengetahui ketelitian terhadap perhitungan $P-\delta$.

benchmark uji (AISC 2010)



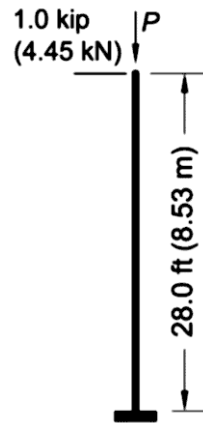
Major axis bending
W14x48 (W360x72)
 $E=29,000$ ksi (200 GPa)

Axial Force, P (kips)	0	150	300	450
M_{mid} (kip-in.)	235 [235]	270 [269]	316 [313]	380 [375]
Δ_{mid} (in.)	0.202 [0.197]	0.230 [0.224]	0.269 [0.261]	0.322 [0.311]

Axial Force, P (kN)	0	667	1334	2001
M_{mid} (kN-m)	26.6 [26.6]	30.5 [30.4]	35.7 [35.4]	43.0 [42.4]
Δ_{mid} (mm)	5.13 [5.02]	5.86 [5.71]	6.84 [6.63]	8.21 [7.91]

Analyses include axial, flexural and shear deformations.
[Values in brackets] exclude shear deformations.

a) Case 1



Major axis bending
W14x48 (W360x72)
 $E=29,000$ ksi (200 GPa)

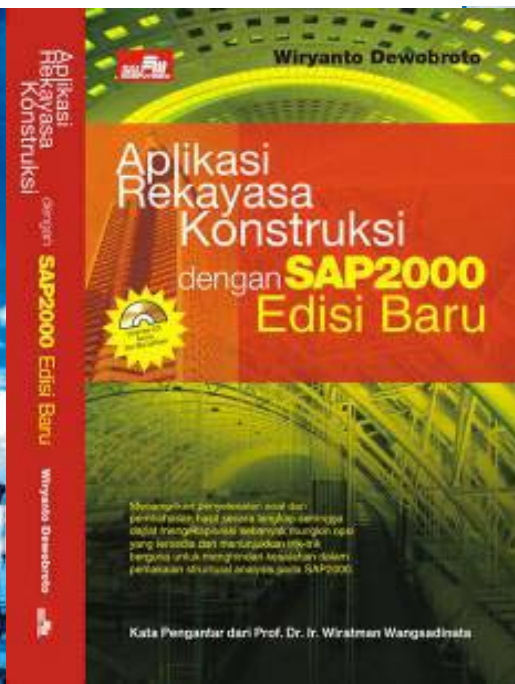
Axial Force, P (kips)	0	100	150	200
M_{base} (kip-in.)	336 [336]	470 [469]	601 [598]	856 [848]
Δ_{tip} (in.)	0.907 [0.901]	1.34 [1.33]	1.77 [1.75]	2.60 [2.56]

Axial Force, P (kN)	0	445	667	890
M_{base} (kN-m)	38.0 [38.0]	53.2 [53.1]	68.1 [67.7]	97.2 [96.2]
Δ_{tip} (mm)	23.1 [22.9]	34.2 [33.9]	45.1 [44.6]	66.6 [65.4]

Analyses include axial, flexural and shear deformations.
[Values in brackets] exclude shear deformations.

b) Case 2

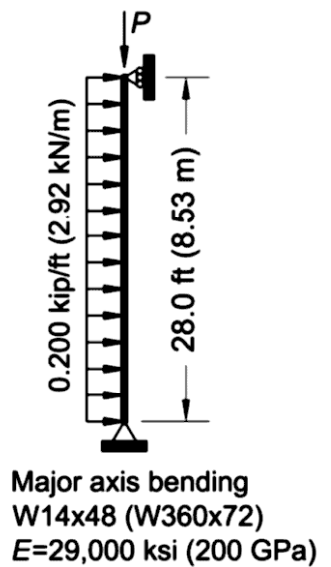
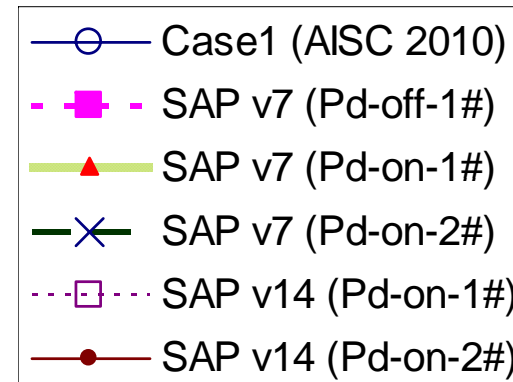
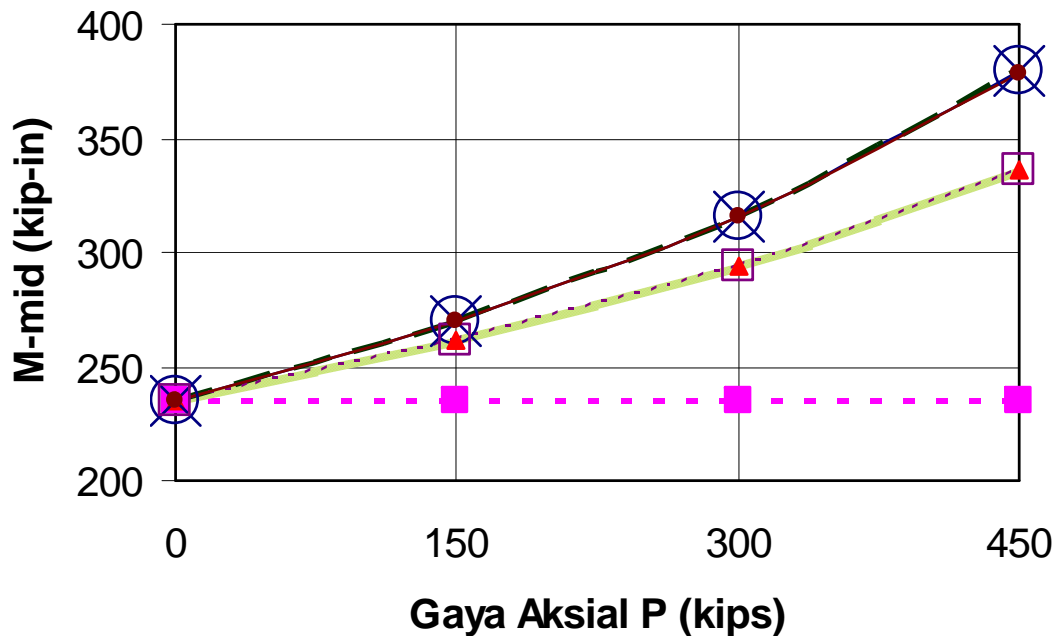
Aplikasi Benchmark AISC 2010 pada program analisa struktur komersil populer dan dikenal oleh para insinyur di Indonesia yaitu **SAP2000**



Hasil uji benchmark program SAP2000

Tabel 1. Uji Benchmark CASE-1 terhadap Pengaruh P- δ

Case-1 (AISC 2010)		SAP v7.4 (P Δ -off-1#)		SAP v7.4 (P Δ -on-1#)		SAP v7.4 (P Δ -on-2#)		SAP v14.0 (P Δ -on-1#)		SAP v14.0 (P Δ -on-2#)	
P	M-mid	P	M-mid	P	M-mid	P	M-mid	P	M-mid	P	M-mid
0	235	0	235.2	0	235.20	0	235.20	0	235.20	0	235.20
150	270	150	235.2	150	261.43	150	269.63	150	261.41	150	269.56
300	316	300	235.2	300	294.25	300	315.39	300	294.23	300	315.31
450	380	450	235.2	450	336.48	450	379.12	450	336.42	450	378.71

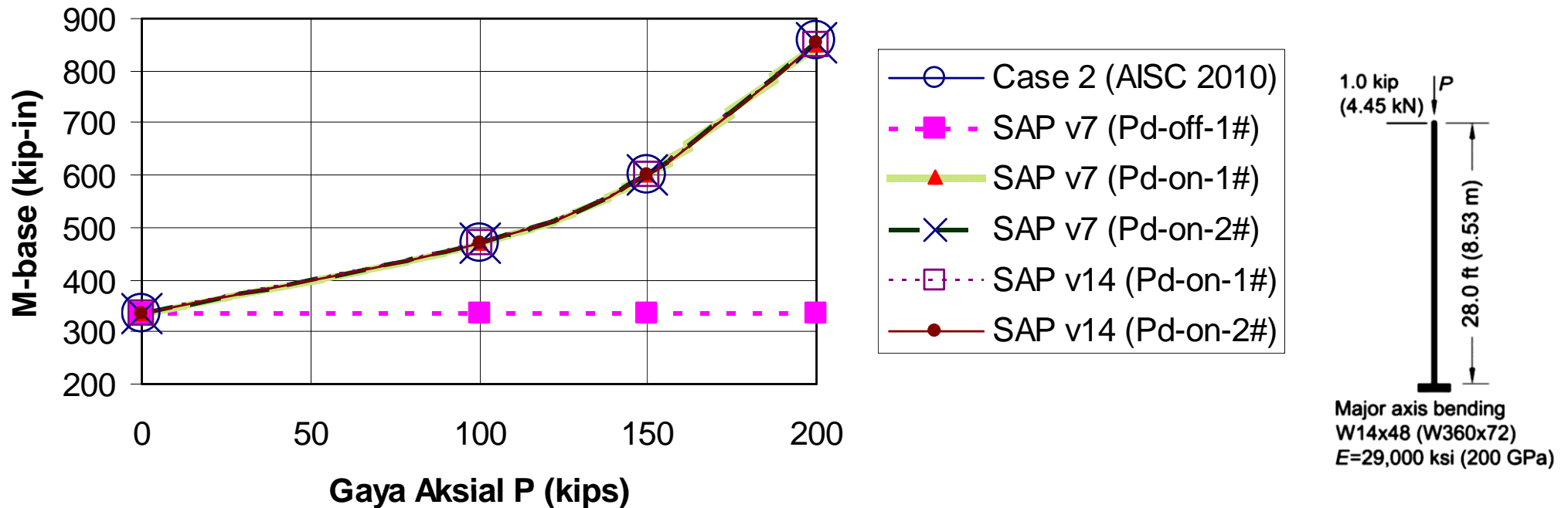


Gambar 4. CASE-1: gaya aksial terhadap momen tengah bentang

Hasil uji benchmark program SAP2000

Tabel 2. Uji Benchmark CASE-2 terhadap Pengaruh $P-\delta$ dan $P-\Delta$

Case-2 (AISC 2010)		SAP v7.4 ($P\Delta$ -off-1#)		SAP v7.4 ($P\Delta$ -on-1#)		SAP v7.4 ($P\Delta$ -on-2#)		SAP v14.0 ($P\Delta$ -on-1#)		SAP v14.0 ($P\Delta$ -on-2#)	
P	M-base	P	M-base	P	M-base	P	M-base	P	M-base	P	M-base
0	336	0	336	0	336.00	0	336.00	0	336.00	0	336.00
100	470	100	336	100	469.77	100	469.92	100	469.602	100	469.41
150	601	150	336	150	599.82	150	600.69	150	599.815	150	599.79
200	856	200	336	200	849.77	200	854.35	200	849.766	200	854.35



Gambar 5. CASE-2: gaya aksial terhadap momen dasar

SAP2000 sebagai Program Komputer Analisa Struktur Orde-2

- SAP2000 (versi lama dan baru) dengan *meshing* yang sesuai khususnya (jika P- δ dominan), dapat memberikan analisa struktur orde-2 secara teliti.
- Jika SAP2000 v7.4 yang dianggap *out-of-dated*, kuno dan tidak eksplisit mendukung DAM. Maklum, di-release jauh hari sebelum DAM (AISC 2005), tetapi terbukti lulus uji benchmark (AISC 2010).
- Indikator bahwa modal utama (tool) untuk DAM di Indonesia telah tersedia (tidak menjadi masalah).

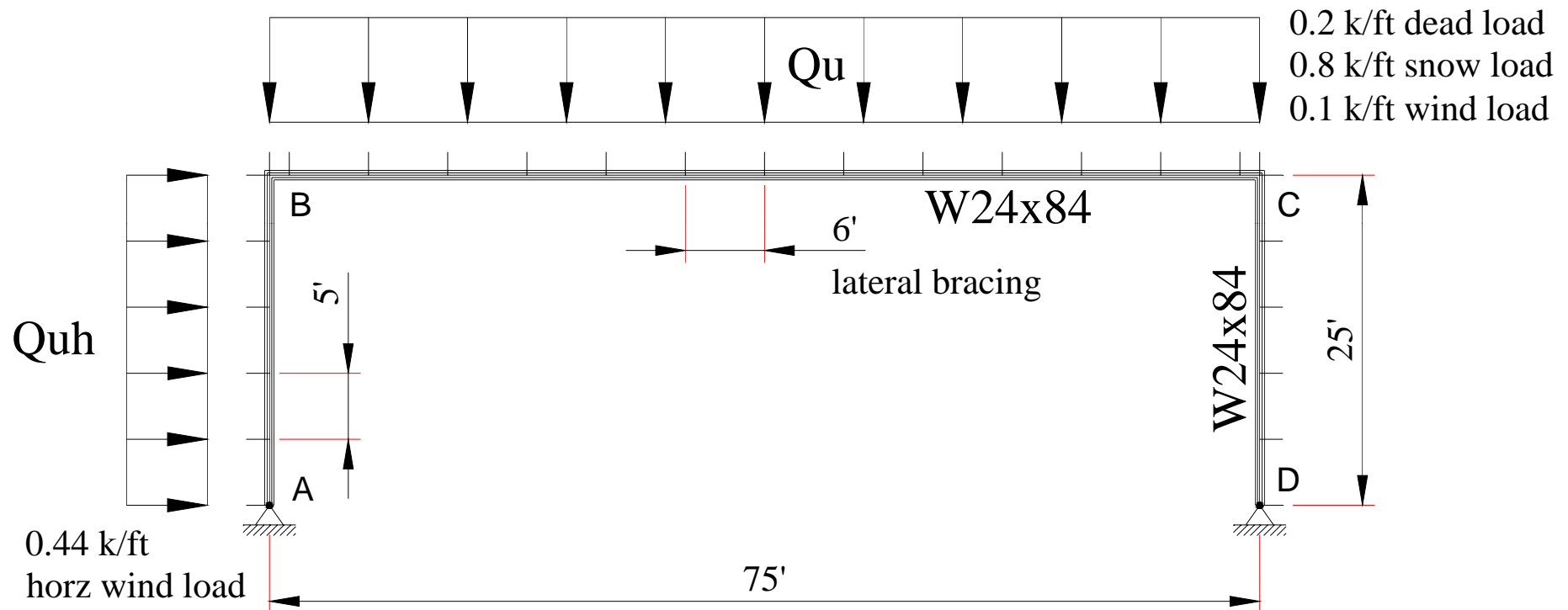
APLIKASI DIRECT ANALYSIS METHOD

Direct analysis method dapat
menyederhanakan perancangan.

Sebagai contoh akan ditinjau kasus
[1] portal example 15.3.1 (salmon 2009); dan
[2] kolom kantilever biasa.

[1] PORTAL EXAMPLE 15.3.1

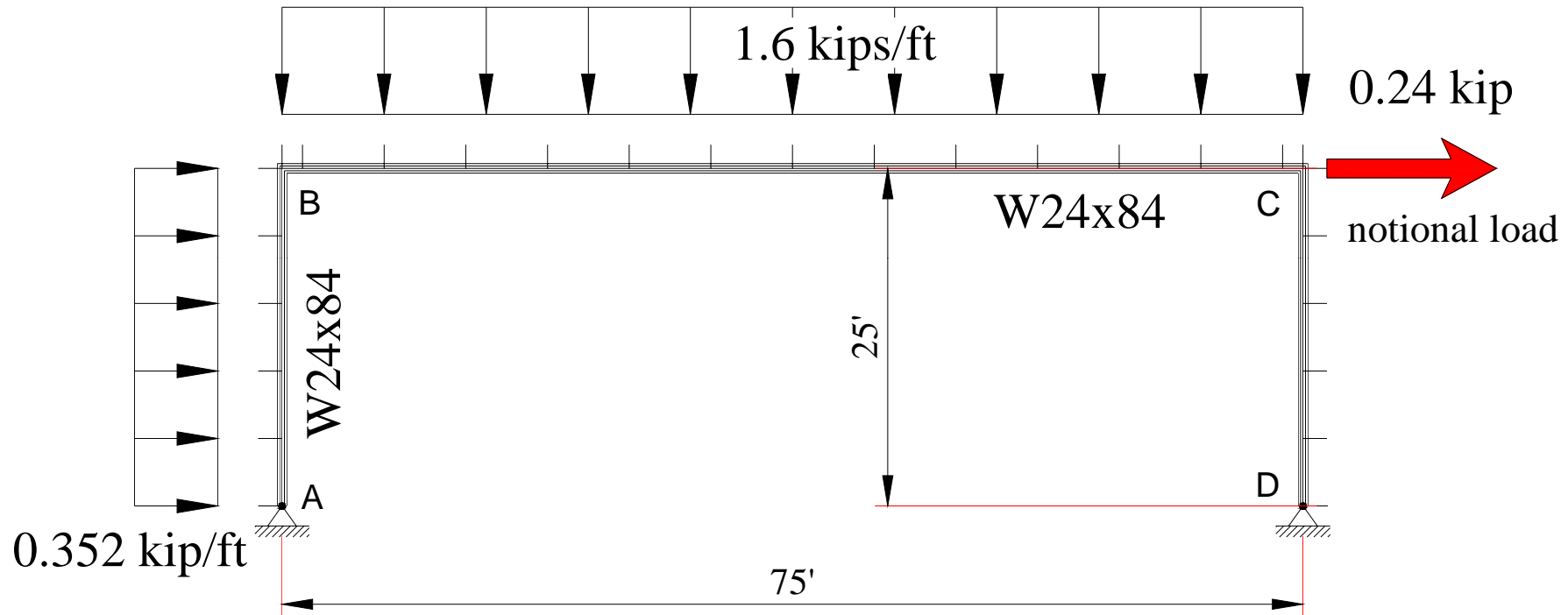
(Salmon 2009)



Gambar 6. Contoh I: Portal Baja dari Salmon (2009)

[1] PORTAL EXAMPLE 15.3.1

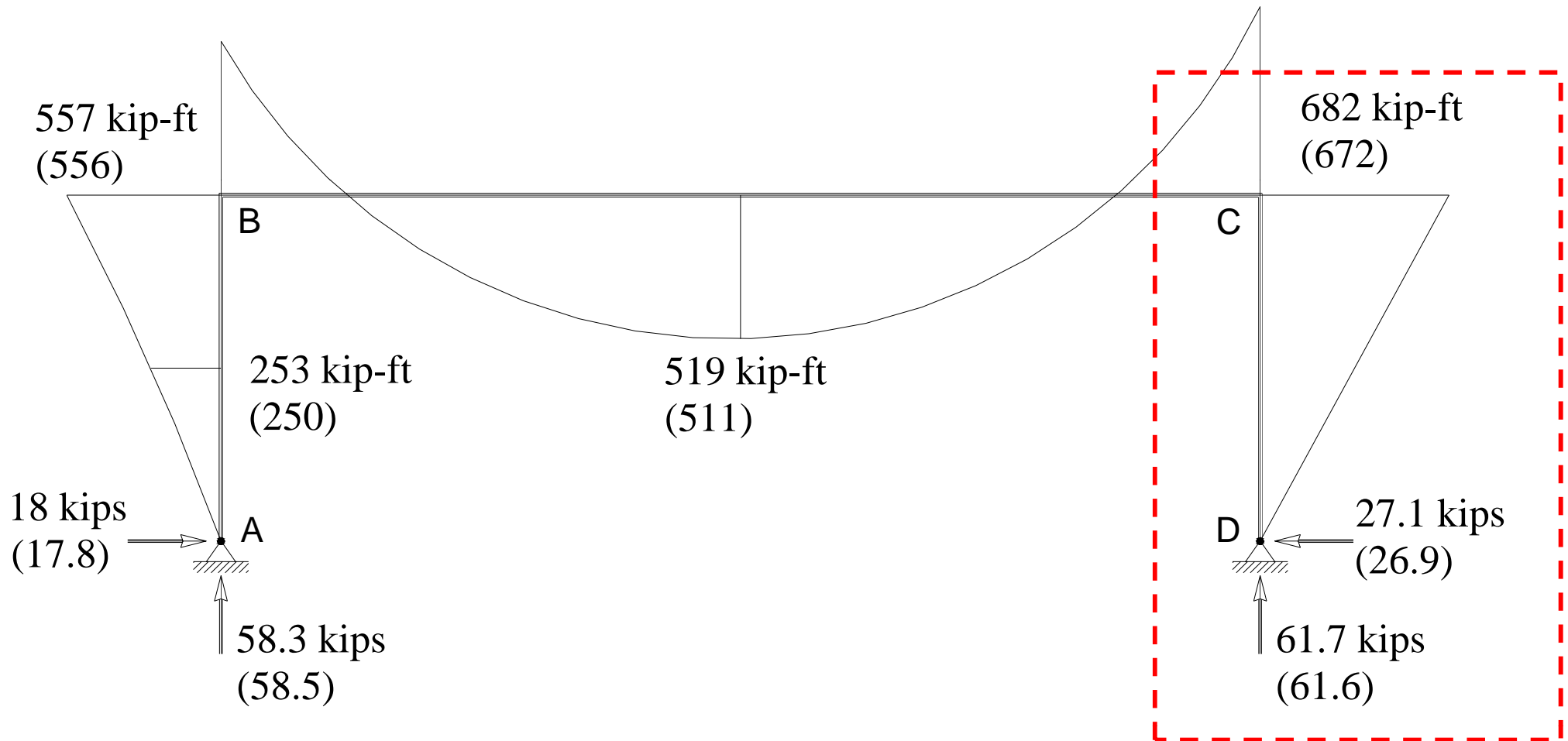
(lanjutan)



Gambar 7. Model dan Pembebanan untuk Analisa Struktur Orde-2

Pakai **SAP2000 v 7.40** yang **kuno** → bukti bahwa DAM tidak perlu algoritma khusus kecuali analisa struktur orde-2.

Disamakan dengan referensi (Salmon 2009) → berat sendiri profil diabaikan, **opsi P- Δ diaktifkan**. Hasilnya adalah sbb:



Gambar 8. Bending Momen Diagram dan gaya reaksi tumpuan

Ditinjau kolom CD profil W24x84 $F_y = 50$ ksi; $E = 29000$ ksi sehingga $4.71\sqrt{E/F_y} = 113$

**** Kapasitas aksial ****

$\phi_c = 0.9$; $A_g = 24.7$ in.²; $L = L_{DC} = 25$ ft = 300 in. ; $r_{\min} = r_x = 9.79$ in.

Untuk DAM maka $K=1$ $\rightarrow \frac{KL}{r_{\min}} = \frac{1 \cdot 300}{9.79} = 30.6$ dan $F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 29000}{(30.6)^2} = 306$ ksi

$KL/r_{\min} = 30.6 < 4.71\sqrt{E/F_y} = 113 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{F_y/F_e}\right] F_y = \left[0.658^{50/306}\right] 50 = 46.7$ ksi

$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.9 \cdot 46.7 \cdot 24.7 = 1038$ Kips |

**** Kapasitas lentur ****

$F_y = 36$ ksi					Z_x	Shape	$F_y = 50$ ksi				
BF	L_r	L_p	$\phi_b M_r$	$\phi_b M_p$			$\phi_b M_p$	$\phi_b M_r$	L_p	L_r	BF
Kips	Ft	Ft	Kip-ft	Kip-ft	in.^3	Kip-ft	Kip-ft	Ft	Ft	Kips	
13.6	24.5	8.1	382	605	224	W24x84	840	588	6.9	18.6	21.5

Karena $L_b(5 \text{ ft}) < L_p(9.1 \text{ ft})$, untuk $F_y = 50$ ksi maka $\phi_b M_n = \phi_b M_p = 840$ Kip - ft

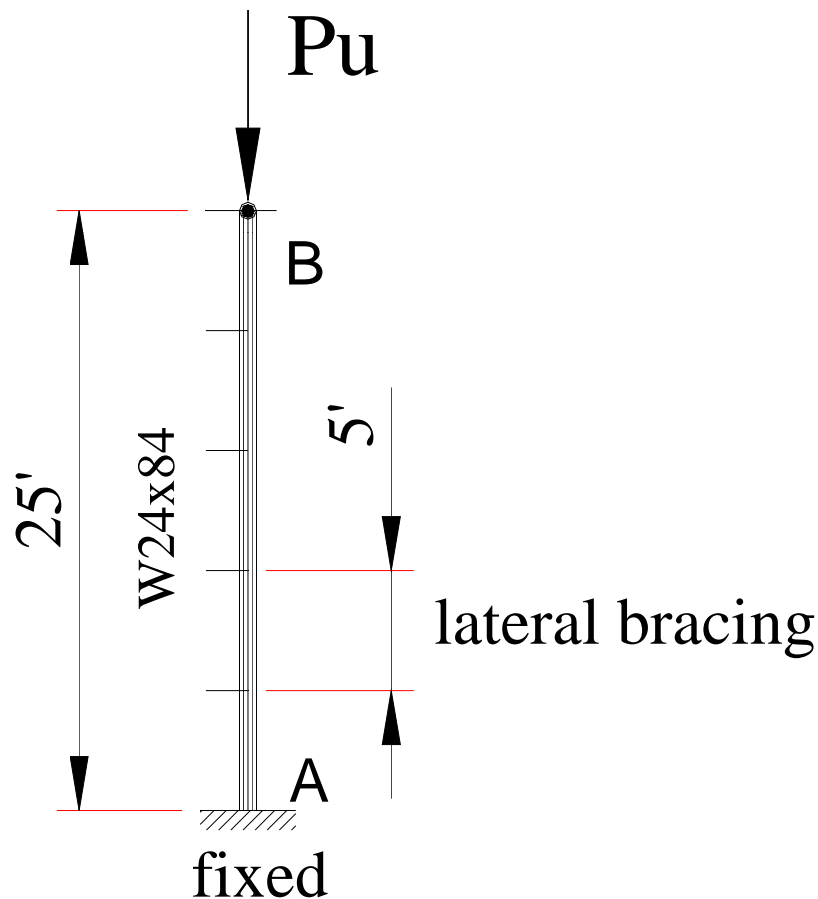
$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{61.7}{1038} = 0.06 < 0.2 \rightarrow \frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \leq 1.0$$

$$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} = \frac{0.06}{2} + \frac{682}{840} = 0.842 \ll 1.0 \rightarrow \text{ok.}$$

Note: cara lama (*Effective Length Method*) dari hitungan Salmon (2009) halaman 813

diperoleh nilai $\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} = \frac{0.078}{2} + \frac{687}{840} = 0.857$ atau berbeda $\pm 1.75\%$

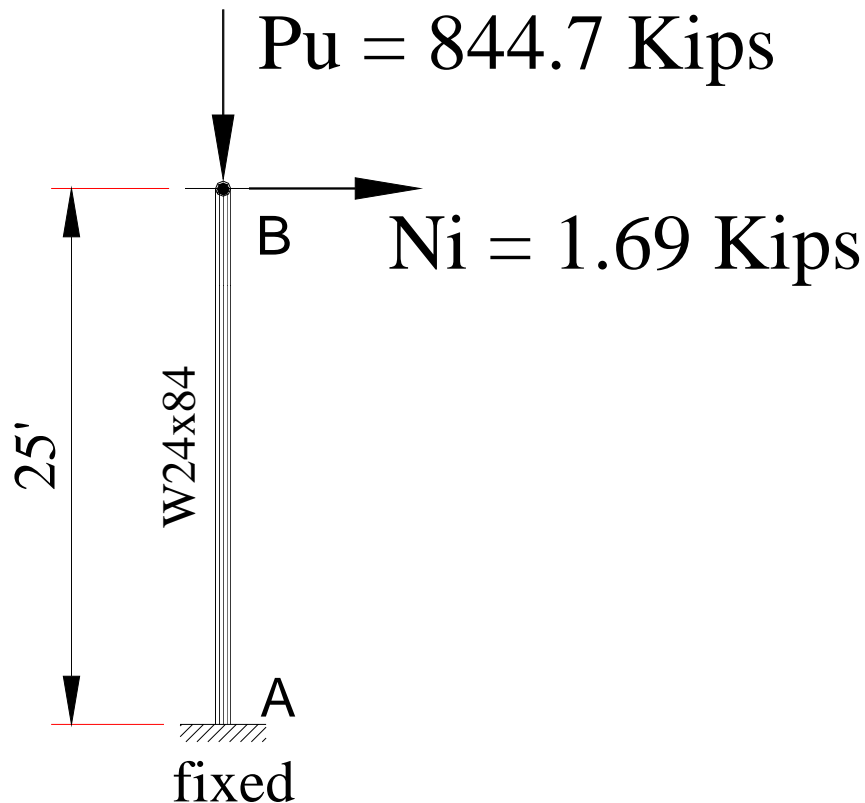
[2] KOLOM KANTILEVER BIASA



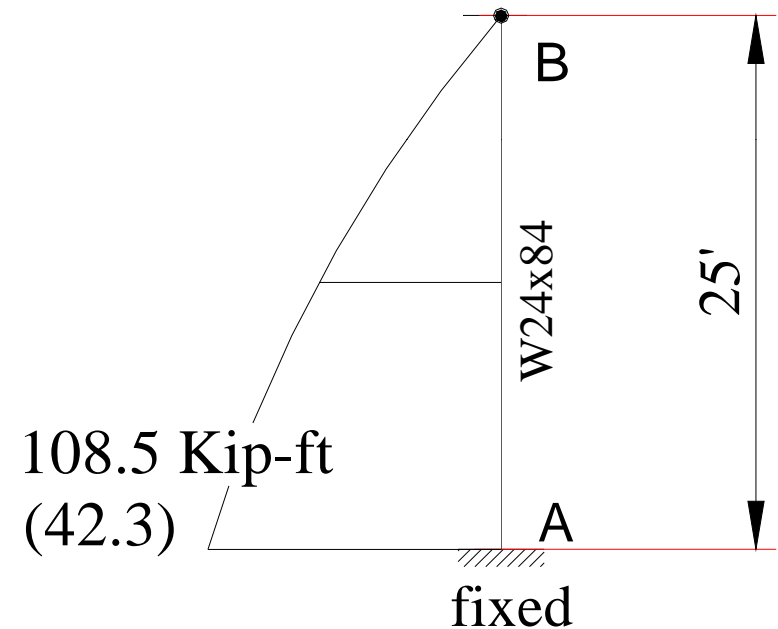
Kolom dng beban aksial saja.
Cara ELM (pakai faktor K) → hitung kapasitas **tanpa momen** (memang tidak didefinisikan).
Cara DAM pakai analisa struktur orde-2 → **keberadaan momen sangat penting** → *initial imperfection*.

Gambar 9. Contoh II: Kolom bebas

[2] KOLOM KANTILEVER BIASA (lanjutan)



a) Model struktur dan beban



b) BMD hasil analisis struktur orde-2

Gambar 10. Analisis stabilitas dengan SAP2000 v 7.4

Evaluasi kuat penampang dengan DAM pada prinsipnya tidak mengalami perubahan kecuali nilai $K = 1$. Besarnya kapasitas terhadap komponen beban aksial:

$$\phi_c = 0.9; A_g = 24.7 \text{ in.}^2; L = L_{DC} = 25 \text{ ft} = 300 \text{ in.}; r_{\min} = r_x = 9.79 \text{ in.}$$

$$K=1 \rightarrow \frac{KL}{r_{\min}} = \frac{1 * 300}{9.79} = 30.6 \text{ dan } F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 * 29000}{(30.6)^2} = 306 \text{ ksi}$$

$$KL/r_{\min} = 30.6 < 4.71 \sqrt{E/F_y} = 113 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{F_y/F_e} \right] F_y = \left[0.658^{50/306} \right] 50 = 46.7 \text{ ksi}$$

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.9 * 46.7 * 24.7 = 1038 \text{ Kips}$$

$F_y = 36 \text{ ksi}$					Z_x	Shape	$F_y = 50 \text{ ksi}$				
BF	L_r	L_p	$\phi_b M_r$	$\phi_b M_p$			$\phi_b M_p$	$\phi_b M_r$	L_p	L_r	BF
Kips	Ft	Ft	Kip-ft	Kip-ft	in.^3	Kip-ft	Kip-ft	Ft	Ft	Kips	
13.6	24.5	8.1	382	605	224	W24x84	840	588	6.9	18.6	21.5

Karena $L_b (5 \text{ ft}) < L_p (9.1 \text{ ft})$, untuk $F_y = 50 \text{ ksi}$ maka $\phi_b M_n = \phi_b M_p = 840 \text{ Kip-ft}$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{844.7}{1038} = 0.814 \geq 0.2 \rightarrow \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \leq 1.0$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} = 0.814 + \frac{8}{9} * \frac{108.5}{840} = 0.93$$

Note: cara ELM (*Effective Length Method*) tidak ada momennya maka ratio kuat kolom

adalah $\frac{P_u}{\phi_c P_n} - \frac{844.7}{844.7} - 1$ atau selisih $\pm 7 \%$ (cara DAM rasionya = 0.93),

dari dua kasus di atas terlihat bahwa rancangan kolom cara DAM menghasilkan kapasitas profil yang lebih tinggi (hemat) dibanding rancangan kolom cara ELM.

Pembahasan dan kesimpulan

(teknologi pendukung)

- Perancangan struktur baja LRFD terbaru (AISC 2010), yaitu DAM (*Direct Analysis Method*) perlu program komputer dengan analisa struktur orde-2.
- **Teknologi sudah ada** di program komersil lama (SAP2000 versi 7.40 release tahun 2000 atau 11 tahun lalu).
- Jadi mestinya program yang lebih *up-to-dated* pasti telah mendukungnya).

Pembahasan dan kesimpulan

(kesederhanaan cara)

- Perancangan struktur baja cara DAM → prosedurnya **lebih sederhana** dan **konsisten**.
- Pakai program komputer analisa struktur orde-2 :
 - Tidak perlu hitung **faktor K**.
 - Bisa hitung efek P-delta otomatis tanpa **faktor pembesaran momen** B1 dan B2 (AISC 2005).
- Perancangan DAM hanya memberi perbedaan **signifikan** jika **strukturnya portal bergoyang** dan semacamnya saja.

Pembahasan dan kesimpulan

(usulan untuk SNI baja yang baru)

- Agar tidak tertinggal di era globalisasi dan pasar bebas, khususnya dalam kompetensi perancangan struktur baja,
- disarankan agar SNI baja terbaru dapat mengadopsi cara DAM, baik sebagai metode utama (AISC 2010) atau hanya sebagai metode alternatif (AISC 2005).

Terima kasih atas perhatiannya

