

ALAT BANTU DESAIN KOMPONEN STRUKTUR BAJA BERDASARKAN SNI 03-1729-2002

Armen Adekristi¹, Seto Wahyudi², Tandika Marcel³, Wijono Ramli⁴

1. Pendahuluan

Pemakaian profil baja sebagai elemen struktur penyusun bangunan telah menjadi hal yang umum di Indonesia. Hal ini didorong oleh perencanaan desain konstruksi baja yang semakin berkembang pesat, terutama dengan dikeluarkannya peraturan konstruksi baja yang menjadi acuan baru di Indonesia, yaitu SNI 03-1729-2002. SNI 03-1729-2002 pada dasarnya menggunakan prinsip LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Prinsip LRFD merupakan konsep yang tergolong baru dan tidak biasa digunakan dalam perencanaan konstruksi baja di Indonesia dibandingkan dengan ASD (*Allowable Stress Design*), padahal konsep LRFD dapat mengakomodir berbagai variasi pembebanan. Prinsip LRFD adalah memperhitungkan faktor amplifikasi beban (γ) serta faktor reduksi kuat bahan (Φ). Faktor amplifikasi beban diperhitungkan dalam analisis struktur serta menghasilkan berbagai kombinasi pembebanan yang selanjutnya memberikan nilai kuat ultimit yang harus dipikul oleh elemen struktur. Sementara faktor reduksi kuat bahan diperhitungkan dalam mencari nilai kuat perlu dari komponen struktur. Nilai kuat perlu yang ditinjau harus lebih kuat atau sama dengan nilai kuat ultimit yang ada (komponen struktur mampu memikul pembebanan yang dimodelkan). Hubungan antara kuat perlu dari komponen struktur dengan kuat beban ultimitnya ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\phi R_n \geq \sum (\gamma_i \times Q_i)$$

- Φ = faktor keamanan untuk sisi kekuatan atau sering disebut sebagai faktor reduksi kekuatan (*resistance/strength reduction factors*); nilai Φ lebih kecil dari 1,0.
- R_n = kuat nominal bahan, merupakan nilai minimum dari beberapa skenario kegagalan yang mungkin terjadi.
- γ = faktor keamanan untuk sisi beban atau sering disebut faktor pengali beban (*overload factors*); nilai γ lebih besar dari 1,0.
- Q_i = berbagai jenis beban yang direncanakan untuk ditanggung oleh struktur

Sebagai sarana mempermudah pemahaman dan penggunaan prinsip LRFD, dibuatlah alat bantu desain berupa grafik. Dengan demikian, para perencana secara tidak langsung telah mengadopsi prinsip LRFD pada saat penggunaan alat bantu ini. Alat bantu desain ini berlaku untuk kasus *non-seismic* sesuai dengan SNI 03-1729-2002.

¹ Lulusan Program Studi Teknik Sipil ITB

² Lulusan Program Studi Teknik Sipil ITB

³ Lulusan Program Studi Teknik Sipil ITB

⁴ Lulusan Program Studi Teknik Sipil ITB

Dalam pembuatan alat bantu desain ini digunakan data-data *properties* profil baja produksi lokal yang beredar dan dapat mewakili sebaran profil lokal di pasaran Indonesia. Jenis profil yang *diinputkan* merupakan jenis profil yang umum digunakan sebagai komponen aksial dan komponen lentur di Indonesia, yaitu: IWF, *HBeam*, Siku, Kanal, T, *Tubular*, dan *Square HSS*.

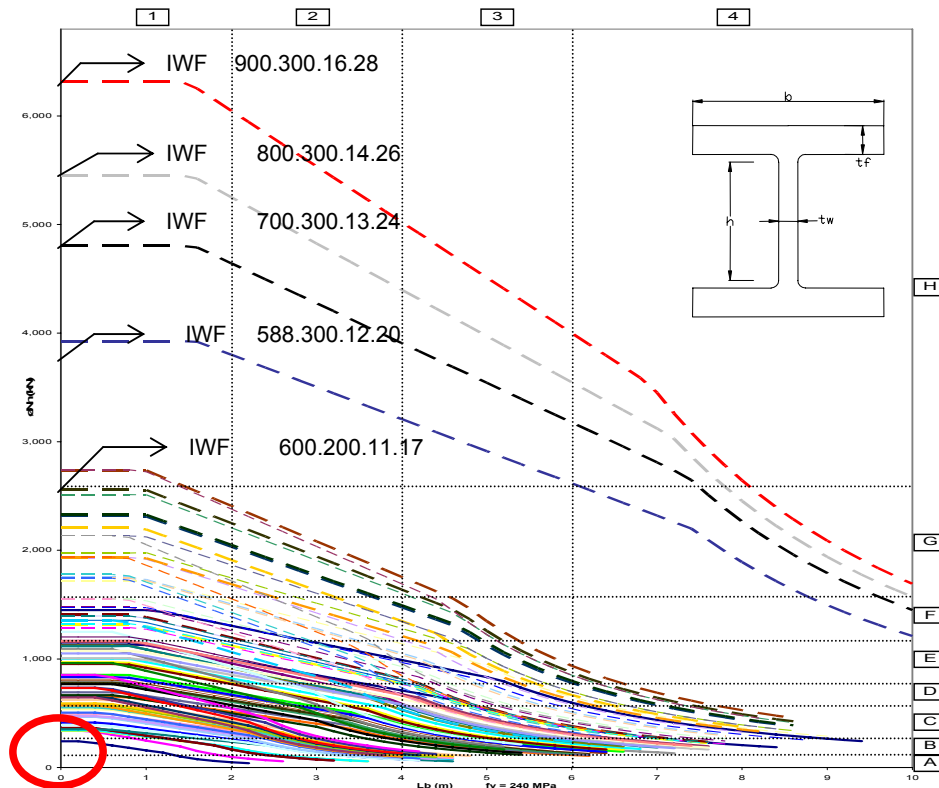
2. Komponen Aksial Murni

2.1. Pembuatan Grafik

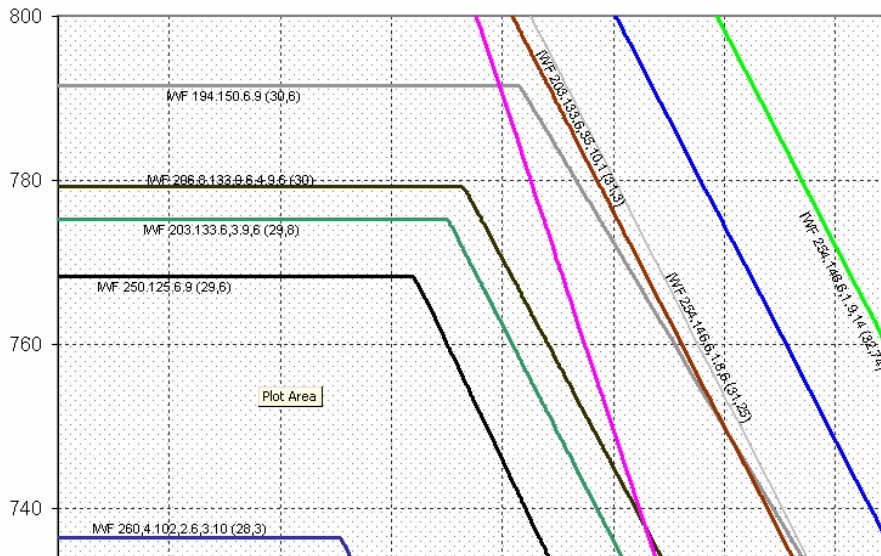
Alat bantu yang dihasilkan berupa grafik yang menunjukkan perubahan nilai tahanan aksial baik aksial tarik maupun tekan dari profil baja terhadap penambahan panjang bentang. Hal-hal yang menjadi perhatian dalam pembuatan grafik antara lain: panjang maksimum profil, nilai kelangsingan bentang, dan kelangsingan penampang. Dalam pembuatan grafik tahanan tekan, dipakai koefisien pengali panjang tekuk (k_c) sama dengan 1 dengan mengasumsikan bahwa kondisi perletakan elemen tertekan adalah sendi-sendi.

Kuat perlu dari komponen struktur didapat dengan analisis struktur menurut metode *Load and Resistance Factor Design* dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 03-1729-2002. Nilai kuat perlu ini lalu diplot pada grafik sehingga didapat batas profil yang memenuhi kuat perlu yang telah ditentukan. Profil optimum (dari segi harga) yang dipilih adalah profil yang memiliki berat terkecil, terkecuali terdapat pertimbangan lain dalam memilih komponen struktur.

2.2. Contoh Grafik



Gambar 1 Grafik Tahanan Aksial Tekan Profil IWF



Gambar 2 Inset Grafik Tahanan Aksial Tekan Profil IWF Bagian D-1

2.3. Bahasan

a. Urutan profil pada grafik tahanan tekan tidak bergantung pada urutan profil pada daftar yang dikeluarkan oleh *fabrikator*. Hal ini disebabkan karena pada tahanan tekan yang menentukan adalah luas profil, semakin besar luas profil maka tahanannya akan semakin besar. Luas profil ini berbanding lurus dengan berat profil, sedangkan urutan pada daftar profil yang dikeluarkan oleh *fabrikator* tidak berdasarkan luasan maupun berat dari profil melainkan diurutkan berdasarkan tinggi profil kemudian berdasarkan lebar profil.

b. Terdapat beberapa garis pada grafik tahanan tekan yang berpotongan. Hal ini disebabkan karena: pada elemen tekan, terdapat tiga zonasi tahanan dengan sifat garis yang berbeda, masing – masing adalah:

- zona $\lambda_c \leq 0.25$ dengan sifat garis lurus sejajar sumbu X
- zona $0.25 \leq \lambda_c \leq 1.2$ dengan sifat garis miring dengan gradient negatif (garis miring ke kanan bawah)
- zona $\lambda_c > 1.2$ dengan sifat garis kuadratik.

Nilai $\lambda_c = 0.25$ dan $\lambda_c = 1.2$ pada elemen tertekan ini merupakan fungsi dari jari-jari girasi minimum profil yang nilainya berbeda untuk tiap profil. Oleh karena itu, nilai λ_c di atas dicapai pada bentang yang berbeda untuk tiap profil. Perbedaan bentang untuk setiap profil pada nilai $\lambda_c = 0.25$ dan $\lambda_c = 1.2$ disertai dengan nilai tahanan tekan yang berbeda ini kemudian menyebabkan kemiringan garis yang berbeda pada zona $0.25 \leq \lambda_c \leq 1.2$ dan penurunan tahanan kuadratik yang berbeda pula pada zona $\lambda_c \geq 1.2$ (perbedaan fungsi garis untuk tiap profil).

c. Terdapat beberapa profil lokal produksi Indonesia yang bersifat tidak kompak jika digunakan sebagai elemen tekan (35 dari 169 buah pada profil IWF dan *HBeam*, 1 dari 13 buah pada profil siku tidak samakaki, serta 16 dari 26 buah pada profil T). **SNI 03-1729-2002** tidak mengatur secara jelas rumusan yang harus dipakai

mengenai perhitungan tahanan tekan untuk profil tidak kompak ini. Untuk itu pada grafik khusus profil tak kompak, rumusan tahanan untuk elemen tekan tak kompak merunut pada ketentuan **AISC Load & Resistance Factor Design, Manual of Steel Construction**.

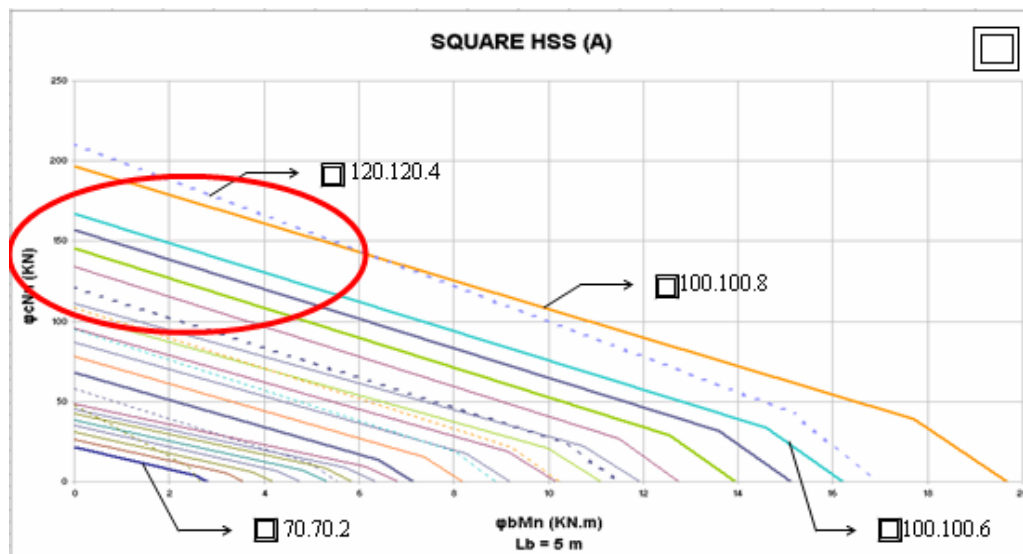
- d. Pada grafik tahanan tekan, nilai faktor pengali panjang tekuk (k_c) diambil sama dengan satu ($=1$) dengan asumsi permodelan perletakan elemen tekan sebagai sendi-sendi. Untuk komponen tekan dengan nilai $k_c = 1.0$ diperlukan perhitungan lebih lanjut agar grafik tahanan tekan dapat digunakan.

3. Komponen Lentur-Aksial

3.1. Pembuatan Grafik

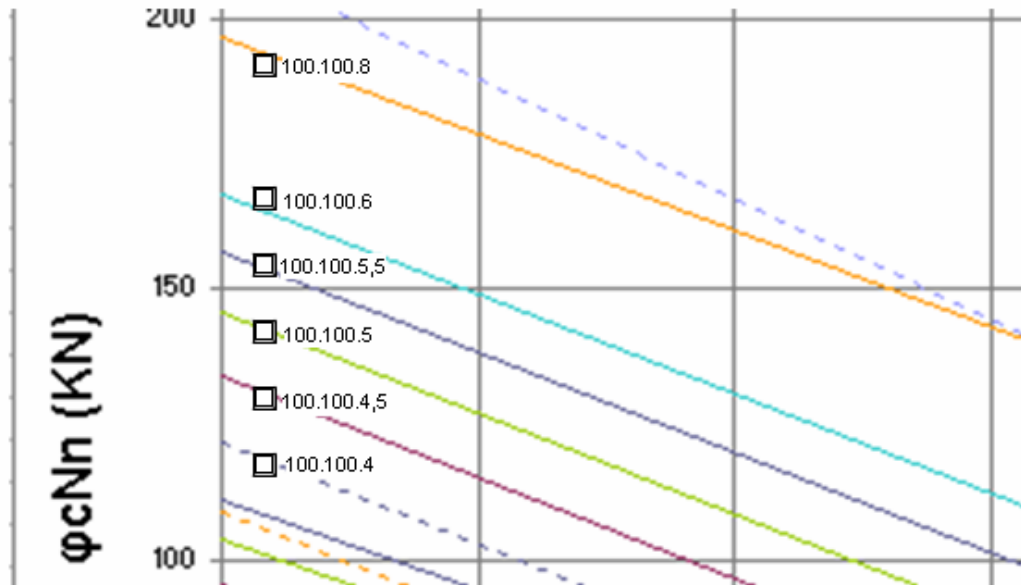
Alat bantu desain yang dihasilkan berupa grafik-grafik yang menunjukkan interaksi nilai tahanan aksial tekan dan tahanan lentur dari berbagai jenis profil (*IWF*, *HBeam*, *HSS Square*, dan *Tubular*). Hal-hal yang menjadi perhatian pada proses desain alat bantu ini antara lain: panjang tekuk, dimensi penampang, kelangsingan bentang, dan kelangsingan penampang. Grafik mengakomodir kombinasi dua jenis nilai k_c ($k_c=1$ dan $k_c=2$) dengan nilai $f_y=250$ MPa (BJ 41) dan nilai $C_b=1$. Bentang yang dianalisis berkisar dari nilai 3 m hingga 7 m tiap kenaikan panjang 1 m. Sama halnya dengan komponen aksial murni, pemilihan profil pada grafik dilakukan dengan mencari profil yang ekonomis dan memenuhi nilai kuat perlu dari komponen struktur.

3.2. Contoh Grafik



Grafik Tahanan Lentur-Aksial Profil *Square* HSS

Gambar 3 Grafik tahanan lentur aksial profil *Square* HSS

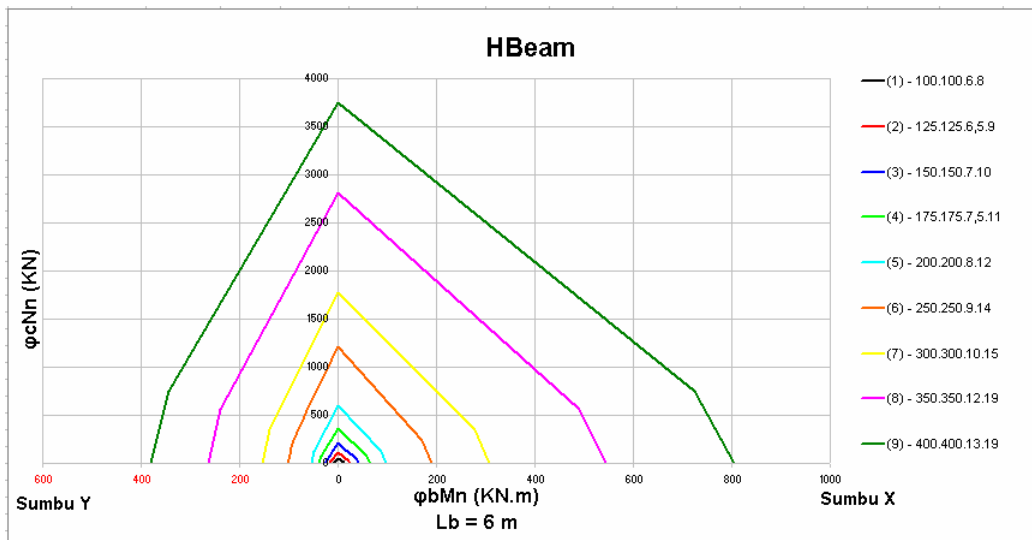


Gambar 4 Inset Grafik Tahanan Lentur-Aksial Profil Square HSS

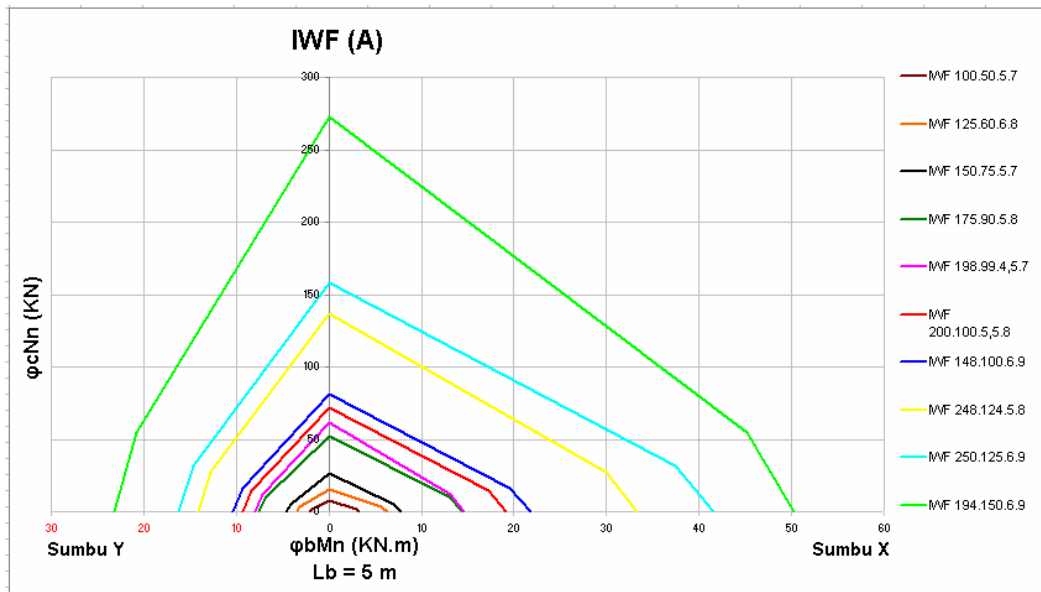
3.3. Bahasan

a. Dimensi penampang

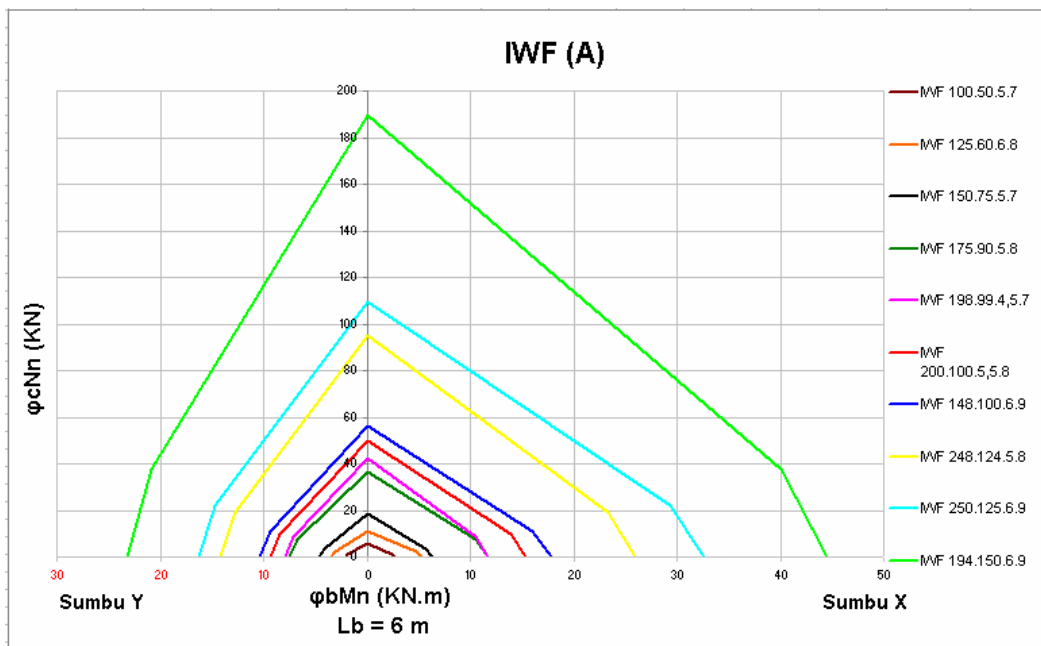
Dimensi penampang akan menunjukkan perilaku seutuhnya dari elemen tersebut. Pada dasarnya bentuk dari dua profil, yaitu profil IWF dan *HBeam* hampir sama, namun menunjukkan perilaku yang berbeda sebagaimana tersaji dalam grafik. Begitu juga dengan profil *Square* HSS dan *Tubular* HSS. Di bawah ini ditampilkan contoh grafik untuk berbagai kondisi dan profil yang berbeda.



Gambar 5 Grafik Tahanan Lentur-Aksial Profil HBeam (Standar JIS) $k_c=1$; $f_y=250$ MPa



Gambar 6 Grafik Tahanan Aksial-Lentur Profil IWF (Standar JIS) $k_c=1$; $f_y=250$ MPa



Gambar 7 Grafik Tahanan Aksial-Lentur Profil IWF (Standar JIS) $k_c=1$; $f_y=250$ MPa

i. Kapasitas tekan pada dimensi penampang

Pada kondisi panjang tekuk yang sama, akan didapat kapasitas tahanan tekan profil *HBeam* > profil IWF dan *Square HSS* > *Tubular HSS*. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya adalah momen inersia penampang. Penampang *HBeam* dan

Square memiliki momen inersia yang lebih besar dibandingkan profil IWF dan *Tubular*. Pada perhitungan tahanan tekan, harga momen inersia yang digunakan untuk menghitung radius girasi r_y , akan memberikan pengaruh langsung pada perhitungan koefisien tekuk Euler. Profil *HBeam* dan *Square* memiliki nilai r_y lebih besar daripada profil IWF dan *Tubular* sehingga nilai kelangsingan λ_c *HBeam* dan *Square* lebih kecil daripada profil IWF dan *Tubular* pada nilai k_c dan L_b yang sama. Nilai λ_c yang besar akan menghasilkan nilai koefisien tekuk Euler (ω) yang semakin besar, di mana $f_{cr} = f_y/\omega$. Pada kondisi tersebut, nilai ω akan lebih besar dari 1 apabila $\lambda_c > 0.25$. Kenaikkan koefisien tekuk Euler ω tidak memberikan efek yang linear pada gradien penurunan tahanan tekan penampang. Penurunan paling drastis terjadi pada kondisi di mana $\lambda_c \geq 1.2$; penurunan terjadi secara kuadratis.

ii. Kapasitas lentur pada dimensi penampang

Parameter-parameter yang berpengaruh besar terhadap perhitungan tahanan lentur :

- Modulus plastis (Z)

Faktor modulus plastis terlihat jelas pada penampang kompak atau pada bentang pendek, ($M_n = f_y \cdot Z$). Z_x profil *HBeam* > IWF dan Z_x profil *Square* HSS > *Tubular* HSS sehingga akan didapatkan profil *HBeam* dan *Square* memiliki nilai tahanan yang lebih besar untuk dimensi profil yang berdekatan. Bila dibandingkan tahanan lentur pada sumbu kuat (X) dengan sumbu lemah (Y) untuk profil *HBeam* dan IWF didapatkan tahanan lentur pada sumbu lemah lebih rendah karena nilai $Z_y < Z_x$.

- Modulus Penampang (S)

Faktor ini berpengaruh terhadap perhitungan M_r , pada kasus penampang yang langsing, tak-kompak, atau bentang menengah. Semakin besar modulus penampang maka akan meningkatkan nilai tahanan lenturnya.

- Momen Inersia (I), konstanta puntir torsi (J), luas penampang (A), dan konstanta puntir lengkung (I_w)

Faktor-faktor dimensi di atas berpengaruh pada penentuan nilai L_p dan L_r pada semua profil, sementara konstanta puntir lengkung (I_w) hanya pada profil *HBeam* dan IWF. Secara umum faktor dimensi yang lebih besar akan menghasilkan kekuatan lentur yang lebih tinggi karena batas nilai L_p dan L_r nya juga menjadi besar untuk nilai L_b yang tetap.

b. Kelangsingan Penampang

Parameter kelangsingan yang dipakai dalam pembuatan grafik interaksi tekan dan lentur terdiri atas dua, yaitu pada kondisi perhitungan tekan murni dan lentur. Parameter kelangsingan pada kondisi tekan murni pada SNI 03-1729-2002 hanya mengatur bagian profil penampang yang memiliki kelangsingan kompak dan tak-kompak, sedangkan untuk profil yang langsing dapat mengacu pada perhitungan tahanan tekan AISC. Secara umum profil yang termasuk ke dalam parameter langsing memiliki kekuatan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan penampang kompak akibat adanya faktor reduksi tahanan. Untuk perhitungan lentur, parameter kelangsingan berpengaruh pada kondisi tekuk lokal penampang, yaitu pada penampang tak-kompak atau langsing.

c. Panjang tekuk (L_k)

Panjang tekuk erat kaitannya dengan tahanan tekan penampang. Panjang tekuk dipengaruhi oleh nilai k_c , yaitu koefisien tekuk yang terjadi pada elemen struktur tersebut. Koefisien tekuk k_c ditentukan dengan menggunakan Tabel pada **SNI 03-1729-2002**. Penggunaan nilai k_c dengan tabel SNI ini berdasarkan kondisi yang dapat terjadi di lapangan, yaitu kondisi *sway* dan *non sway*. Karena kondisi *sway* lebih berbahaya bagi kekuatan bangunan, maka nilai k_c ditentukan berdasarkan kondisi *sway*. Untuk kondisi *non sway*, dapat didekati dengan menggunakan nilai $k_c=1$ sebab nilai maksimum k_c pada portal adalah 1. Pada tampilan grafik ini ditampilkan dua nilai k yaitu :

- $k_c=1$, digunakan pada kasus untuk struktur elemen tunggal atau portal dengan kondisi panjang tekuk yang mungkin terjadi lebih kecil atau sama dengan panjang tak terkekangnya. Salah satu contoh di lapangan adalah batang pendel.
- $k_c=2$ karena pada umumnya penggunaan bentang di lapangan dibatasi hingga nilai tertentu untuk membatasi panjang tekuknya. Nilai $k_c=2$ ini digunakan pada kondisi *sway*.

Pengaruh nilai k_c terhadap tahanan tekan nominal penampang adalah :

- Nilai k_c memberikan pengaruh yang signifikan pada perhitungan tahanan tekan
- Perubahan nilai k_c memberikan gradien penurunan kekuatan yang tidak linear melainkan tergantung pada panjang tekuk L_k yang ditunjukkan dengan faktor tekuk Euler (ω).
- Dua nilai k_c ini sering digunakan dalam mendesain bangunan gedung, dan juga memberikan gambaran atau perbandingan kekuatan secara kasar antara dua nilai tersebut.

d. Panjang tak terkekang (L_b)

Penyajian grafik bantu desain dibagi untuk setiap L_b (panjang tak terkekang) dimulai dari bentang 3 m sampai dengan bentang 7 m dengan kenaikan tiap 1 m. Adapun alasan pemilihan dari penyajian grafik tersebut yaitu.

- Pemakaian elemen untuk desain kolom pada gedung pada umumnya menggunakan bentang tidak kurang dari 3 m.
- Untuk bentang di atas 7 m umumnya digunakan untuk bangunan selain gedung seperti gudang (*ware house*) atau *industrial building*
- Pada umumnya bentang di atas 7 m termasuk bentang panjang ($L_b > L_r$) sehingga diperlukan pengaku-pengaku lateral.

Penggunaan pemisahan berdasarkan L_b merupakan suatu keputusan yang lebih memudahkan penggunaan.

Pada grafik, yaitu contoh **Profil IWF (Standar JIS) $L_b=5$ m dengan $L_b=6$ m** dapat terlihat bahwa tiap kenaikan L_b akan terjadi perubahan nilai tahanan tekan ataupun tahanan lenturnya, di mana kedua nilai tahanan tersebut semakin turun seiring dengan bertambah panjangnya L_b . Semakin panjang L_b maka semakin besar panjang tekuk yang akan terjadi sehingga penurunan kapasitas tahanan tekannya akan semakin besar pula. Pengaruh kenaikan nilai L_b sama halnya seperti pengaruh kenaikan nilai k_c . Sementara untuk tahanan lenturnya, pengaruh L_b dominan pada kondisi untuk bentang menengah, (kecuali profil *Tubular* HSS), di mana $L_p < L_b < L_r$. Pengaruh L_b dapat dilihat pada perhitungan rumus tahanan lentur untuk bentang menengah :

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L_b)}{(L_r - L_p)} \right]$$

4. Komponen Lentur-Geser

4.1. Pembuatan Grafik

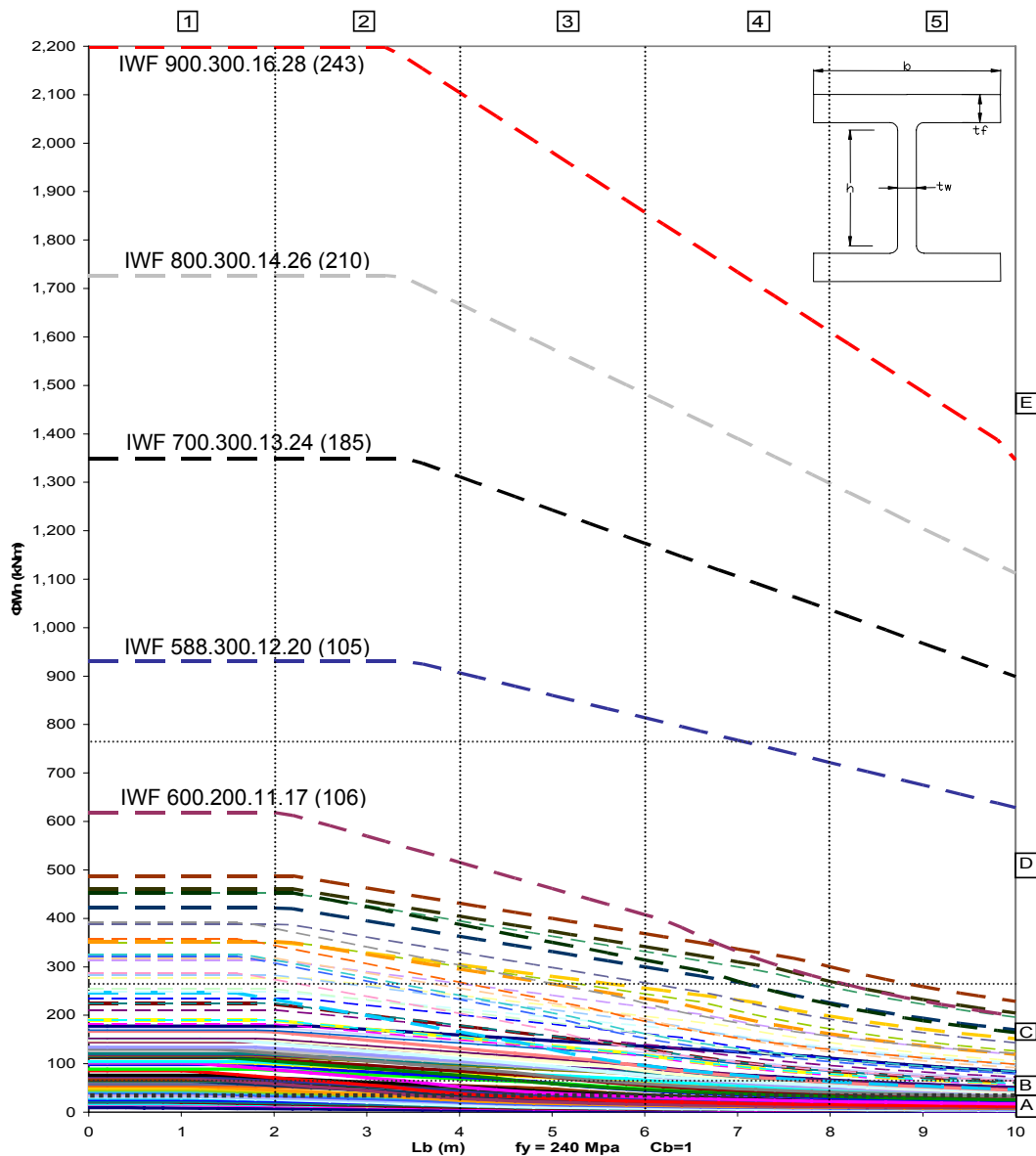
Alat bantu desain terdiri dari grafik-grafik yang menunjukkan perbandingan antara perubahan nilai tahanan lentur murni terhadap panjang bentang profil dan perubahan nilai tahanan geser terhadap panjang bentang profil. Selain kedua kumpulan grafik tersebut, dibuat pula grafik interaksi lentur geser sebagai batasan kombinasi lentur-geser. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan grafik pada perencanaan komponen lentur geser adalah panjang daerah plastis, inelastis, dan elastis.

Grafik mencakup profil IWF dan *HBeam*. Perhitungan tahanan lentur dilakukan untuk nilai faktor pengali beban (C_b)=1 dengan $f_y=240$ MPa dan $f_y=250$ MPa serta nilai $C_b=2,3$ dengan $f_y=240$ MPa. Nilai bentang ditinjau sampai dengan panjang 10m. Nilai tahanan lentur yang dihasilkan didapat dengan menggunakan perhitungan analisis elastis. Hasil akhir dari perhitungan geser adalah kuat geser profil tersebut terhadap bentang takterkekang secara lateral. Perhitungan akan dilakukan untuk nilai $f_y=240$ MPa dan $f_y=250$ MPa.

Pemilihan profil pada komponen lentur-geser ini dilakukan dengan memilih profil optimum pada grafik kuat rencana lentur. Kemudian profil yang dipilih juga harus memenuhi persyaratan kombinasi lentur-geser, yaitu bila titik yang didapat berada di bawah garis miring pada grafik interaksi lentur-geser. Interaksi lentur geser pada sumbu

Y ($\frac{M_u}{\phi M_n}$) sementara pada sumbu X ($\frac{V_u}{\phi V_n}$).

4.2. Contoh Grafik



Gambar 8 Grafik Tahanan Lentur Profil IWF

4.3. Bahasan

- Urutan profil pada grafik tahanan lentur tidak bergantung pada urutan profil pada daftar yang dikeluarkan oleh fabrikator. Hal ini disebabkan karena urutan tahanan momen pada awal grafik ($L_b < L_p$) bergantung pada nilai Z_x profil yang merupakan fungsi dari tinggi, lebar, tebal pelat badan dan tebal pelat sayap dari profil. Besarnya nilai Z_x ini tidak bisa dipastikan dari besarnya tinggi maupun lebar profil sehingga

profil dengan ukuran tinggi yang lebih besar belum tentu memiliki nilai Z_x yang lebih besar pula.

- b. Terdapat beberapa garis pada grafik tahanan lentur yang berpotongan. Hal ini disebabkan karena pada tahanan lentur terdapat tiga zonasi dengan tiga sifat garis tahanan yang berbeda, yaitu:
 - i. Kondisi Tekuk Plastis Sempurna ($L_b \leq L_p$ untuk profil kompak atau $L_b \leq L_p'$ untuk profil tak kompak) dengan sifat garis lurus sejajar sumbu X yang menunjukkan nilai M_p atau M_p' ,
 - ii. Kondisi Tekuk Inelastik ($L_p \leq L_b \leq L_r$ untuk profil kompak atau $L_p' \leq L_b \leq L_r$ untuk profil tak kompak) dengan sifat garis miring ke kanan bawah (bergradient negatif),
 - iii. Kondisi Tekuk Elastik ($L_b \geq L_r$) dengan sifat garis kuadratik.Nilai L_p (atau L_p' pada profil tak kompak) dan L_r merupakan fungsi dari jari-jari girasi minimum dan berbeda untuk tiap profil. Perbedaan letak L_p (atau L_p' pada profil tak kompak), L_r untuk nilai tahanan momen untuk masing-masing profil yang menyebabkan perbedaan fungsi garis pada tiap zona sehingga memungkinkan terjadinya perpotongan garis.
- c. Terdapat rentang antar profil yang cukup jauh untuk semua jenis tahanan. Hal ini berbeda dengan grafik tahanan produksi fabrikator Amerika yang tersebar merata dan lebih rapat. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi profil produksi lokal di Indonesia kurang beragam jika dibandingkan dengan variasi profil keluaran Amerika. Kekurangberagaman profil lokal ini dapat disebabkan oleh faktor ekonomi (tingginya nilai investasi untuk membuat cetakan profil yang sangat beragam) maupun faktor kebutuhan akan profil (bangunan struktur yang umum dibangun di Indonesia tidak membutuhkan variasi profil yang demikian beragam). Selain itu, nilai tahanan tertinggi yang tersedia untuk profil lokal juga jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai tahanan tertinggi profil keluaran Amerika.
- d. Nilai kenaikan faktor pengali momen C_b dari 1 menjadi 2.3, yaitu kondisi perletakan jeit-jejit dengan beban merata sepanjang bentang mempunyai pengaruh yang lebih dominan terhadap perilaku grafik tahanan momen jika dibandingkan dengan pengaruh akibat kenaikan nilai f_y menjadi 250 Mpa (nilai awal $f_y=240$ Mpa). Untuk nilai $C_b=2.3$, zona tekuk plastis sempurna menjadi lebih panjang (dengan nilai M_p maupun M_p' yang tidak berubah) serta mengalami kenaikan tahanan momen 2.3 kali lipat pada zona tekuk inelastik dan zona tekuk elastik dengan tetap dibatasi tidak melebihi nilai M_p maupun M_p' . Sedangkan untuk nilai $f_y=250$ Mpa, terdapat pergeseran nilai L_p dan L_r ke kiri yang disertai dengan kenaikan nilai tahanan yang tidak signifikan.

5. Kesimpulan

- Urutan nilai tahanan profil tidak bergantung pada urutan profil pada katalog profil yang diberikan oleh fabrikator dan juga tidak bergantung pada berat profil.
- Sifat penurunan tahanan profil terhadap bentang adalah saling bebas (*independent*) sehingga memungkinkan adanya perpotongan antar garis tahanan profil pada grafik.

- Kekuatan tekan penampang sangat dipengaruhi oleh nilai k_c dan L_b yang akan menghasilkan nilai panjang tekuk. Nilai k_c diambil sesuai dengan kondisi yang mendekati, yaitu *sway* atau *non sway*.
- Terdapat beberapa profil yang bersifat langsing jika difungsikan sebagai komponen tekan. **SNI 03-1729-2002** tidak mengatur secara jelas rumusan kuat tekan rencana untuk profil-profil yang langsing ini.
- Sebaran dan variasi profil lokal kurang beragam dibandingkan dengan sebaran dan variasi profil yang tercantum pada ***Manual of Steel Construction, AISC-LRFD th. 1994***
- Grafik yang dihasilkan dapat digunakan untuk analisis plastis pada bentang pendek. Tetapi, grafik yang dihasilkan belum dapat digunakan untuk analisis bangunan seismik.

6. Daftar Pustaka

1. American Institute of Steel Construction. Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design, Volume I, 1994.
2. Chen W.F. Structural Stability. New York : Elsevier, 1987.
3. Engelkirk. Controlling Behavior Through Design. New York : John Willey & Sons.
4. <http://www.grdsteel.com/index.asp>
5. McCormac, Jack C. Structural Steel Design LRFD Method. New Jersey : Prentice Hall, 3rd Edition, 2003.
6. PT. Krakatau Steel. Data produk profil baja.
7. Salmon & Johnson. Steel Structures : Design & Behavior. New York : Harper & Row Publishers, 2nd ed, 1980.
8. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1729-2002: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung. Bandung, Juni 2000.