

EVALUASI *SHAPE FACTOR* DALAM MEMBERI ANGKA KEAMANAN PADA KONSEP ELASTIS BAJA

Diana Ningrum

Abstract: Up to now we've known that there are two concepts in steel construction design: elastic method and plastic method. These both methods are based on the behavior of steel, obtained from stress-strain curve in a simple tension or compression test, elastic behavior, plastic, strain hardening and the process of fracture behavior. Elastic method is based on elastic behavior which means that the change stress and strain are proportional up to the accuracy of the primary yield stress. In actual elastic design method the primary yield stress value is not used at all, but its less value is obtained by giving a number of safety factor and this stress called allowable stress. This safety factor value then becomes the bisure of safety in elastic design method. Because of the ductility behavior of steel, its real strength is higher than what is predicted in elastic method. In this section where the moment maximum occurs the moment could be developed till the section undergoes fully plastic (all of the section's fibers are yield). One course of the advantage value of strength is buy a kind of cross section structure's component called shape factor (SF) as a hidden safety factor in elastic design method. By knowing the shape factor value of each structure's component section, it will give a direction to sort the section of structure's component which has the less shape factor value, therefore there is no dissipation of material in design because a higher safety factor means more dissipation. The analysis proved that the structure's component which has I shape section has the less shape factor value average 1,12. It means the number of safety factor that is not included in calculation is only 12%, so it is the most efficient section for structure's component.

Keywords: *shape factor*, elastic design method

Dewasa ini bahan bangunan begitu beragamnya, sehingga pemakai dihadapkan pada suatu pilihan yang sangat sulit, utamanya bahan-bahan untuk finishing. Tetapi, bahan untuk struktur bangunan dari dahulu tidak mengalami perubahan jenis, yaitu meliputi beton bertulang, baja, batu alam, batu buatan, dan kayu. Hanya saja, khususnya beton dan baja mengalami perkembangan teknologi dan analisis perhitungan yang sangat pesat dari waktu ke waktu.

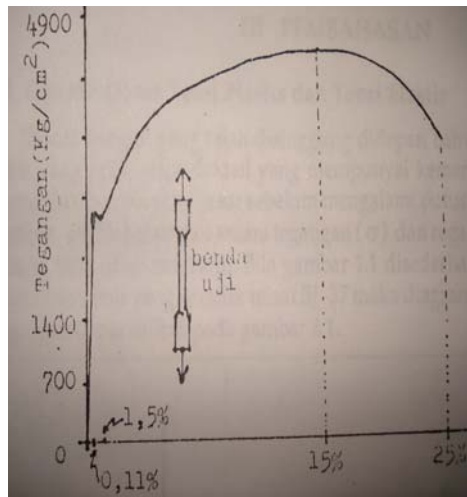
Khususnya bahan baja, kini sudah bisa dibuat mutu yang tinggi, yaitu untuk bahan konstruksi sampai mencapai tegangan leleh 2600 kg/cm^2 dan untuk tali / sling tegangan mencapai leleh sampai 15000 kg/cm^2 . Disamping itu, dari dahulu telah diketahui bahwa baja satu-satunya bahan bangunan yang mempunyai sifat uluran yang sangat besar dalam menerima beban sebelum mengalami keruntuhan tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti sebelum tercapai kepastian beban ultimitnya / batasnya. Hal ini dalam teknik dikenal sebagai sifat daktailitas dari baja.

Dari percobaan beban tarik terhadap batang baja di antara tegangan dan regangan yang terjadi utamanya untuk baja lunak. Garis grafik menunjukkan tahapan-tahapan perilaku baja selama beban percobaan berangsur-angsur ditambah, yakni perilaku elastis, perilaku uluran/plastis, perilaku pengerasan dan terakhir perilaku proses keruntuhan putus. Dari perilaku-perilaku ini lahirlah konsep perhitungan didasarkan atas perilaku elastis disebut konsep elastis (elastic design) dan perhitungan didasarkan atas perilaku plastis disebut konsep plastis (plastic design).

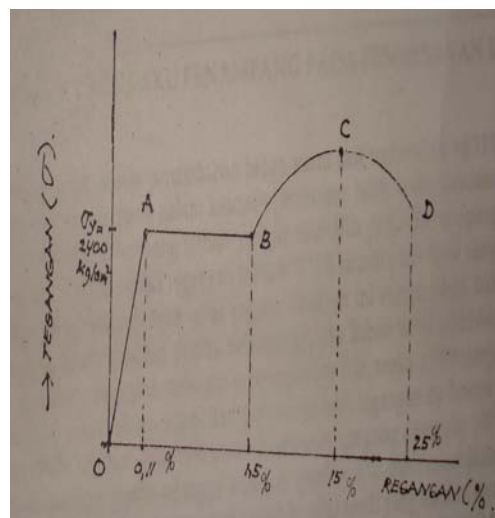
Karena begitu kompleksnya masalah masing-masing materi konsep konstruksi baja maka masalahnya dibatasi yaitu hanya membahas pengaruh factor bentuk penampang batang (*shape factor*) dalam perhitungan konstruksi baja, khususnya konsep elastis.

Konsep Dasar Teori Elastis dan Teori Plastis

Baja mempunyai sifat alam yang unik, yaitu daktail yang mempunyai kemampuan untuk mengalami perubahan bentuk yang besar sebelum mengalami putus. Hal ini dapat dilihat dari gambar grafik hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada percobaan batang tarik di laboratorium. Bila gambar 1, disederhanakan kemudian diambil suatu mutu baja yang spesifik misal mutu baja BJ 37 ($f_y = 240$ MPa) maka diagram hubungan tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 2



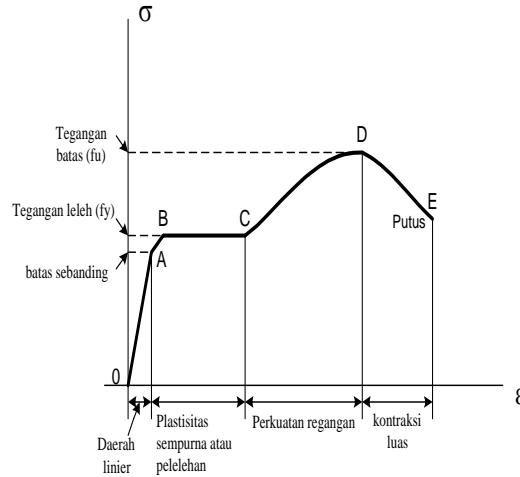
Gambar 1. Kurva Hubungan Tegangan - Regangan



Gambar 2. Idealisasi Grafik Hubungan Regangan - Tegangan

Tegangan permulaan leleh (σ_y) = $\pm 2400 \text{ kg/cm}^2$ tercapai pada perpanjangan 0,11% atau regangan permulaan leleh (ϵ_y) = 0,11% (Hanis Burhan, IR., Lab. Konstruksi baja, ITB). Pada tegangan ini bila beban percobaan ditambah, maka perpanjangan terus sampai tercapai regangan (ϵ) = 1,5% dengan tegangan leleh (σ_y) tetap sebesar 2400 kg/cm^2 . Jika beban terus ditambah, maka terjadi penggeseran bahan (*strain hardening*) sambil perpanjangan terus terjadi kira-kira $\epsilon = 25\%$ saat baja mengalami putus. Jadi bila dilihat dari gambar 2 maka konsep elastis meliputi daerah 0 – A saja. Jelas teori elastis mengabaikan kemampuan ulur yang amat besar dari baja (daerah A – B) yang merupakan dasar konsep plastis.

Digram Tegangan Regangan Baja



Gb. L.2 Diagram tegangan-regangan baja konstruksi yang khas, dalam keadaan tarik (tanpa skala)
 Sumber: Jacob Bernoulli (1705) & J.V. Poncelet (1867)

Rumus yang digunakan:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

- σ = tegangan (MPa)
- P = beban (KN)
- A = luas (mm²)
- ϵ = regangan
- ΔL = pertambahan panjang (mm)
- L_0 = panjang semula (mm)

Keterangan:

Tegangan nominal,
 yaitu tegangan yang dihasilkan berdasarkan luas awal dari batang.

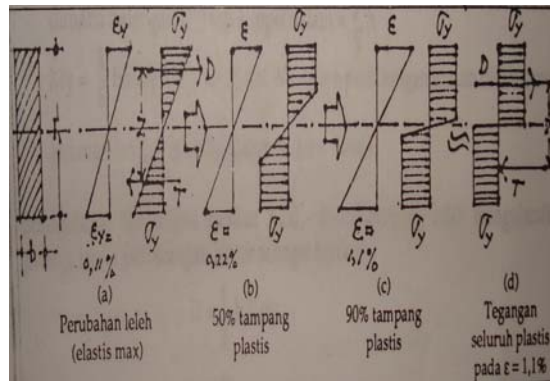
Regangan nominal,
 yaitu regangan yang dihasilkan berdasarkan panjang ukur semula.

Kekuatan nominal (Pn) adalah keadaan batas pada saat terjadinya keruntuhan suatu struktur, yaitu keadaan batasnya adalah

1. keruntuhan leleh, maka $Pn = fy \cdot Ag$ (Ag = luas penampang bruto)
2. keruntuhan retak, maka $Pn = fu \cdot Ae$ (Ae = luas bersih efektif)

Lenturan dalam Teori Elastis dan Teori Plastis

Misalkan diambil suatu penampang segi empat dari baja mutu BJ-37 yang mengalami lenturan akibat beban yang berangsur-angsur ditambah, maka suatu tampang yang mengalami momen maksimum akan mengalami proses perubahan tegangan, seperti gambar 2 : Perilaku Penampang pada pembesaran beban



Gambar 3. Perilaku Penampang Pada Pembesaran Beban

Misalkan pada proses penambahan beban suatu saat tercapai $\epsilon_y = 0,11\%$ hal ini menunjukkan tampang dalam keadaan permulaan leleh (akhir keadaan elastis) yaitu hanya serat tampang terluar yang meleleh. Bila pada saat tampang terjauh tercapai $\epsilon = 0,22\%$, maka regangan sebesar $0,11\%$ terjadi pada serat yang terletak antara garis netral dengan serat terluar, keadaan ini menunjukkan bahwa 50% tampang dalam keadaan plastis. Selanjutnya, jika beban terus ditambah hingga serat terluar mengalami regangan seperti 3c, maka $\pm 90\%$ tampang telah mengulur secara plastis, tetapi dari permulaan leleh tegangan σ_y besarnya adalah tetap. Pada keadaan leleh 90% untuk praktisnya tampang dianggap 100% berada dalam keadaan plastis, sehingga keadaan gambar 3c, disederhanakan menjadi gambar 3d. Keadaan tampang ini sudah bersifat sendi yang disebut sendi plastis, dan momen yang terjadi pada keadaan tersebut disebut momen plastis (MP). Dalam keadaan plastis penuh (atau sudah terjadi sendi plastis), maka suatu penampang tidak lagi bisa menerima momen, yaitu bila beban terus bertambah maka tampang tersebut tidak mengalami pembesaran momen, tetapi akan didistribusikan ke tampang lain yang belum menjadi sendi plastis. Inilah yang disebut lenturan dalam teori plastis. Tetapi lenturan dalam teori elastis didasarkan atas gambar 3.a dengan tidak sepenuhnya dipakai permulaan tegangan leleh σ_y , melainkan diambil suatu nilai angka keamanan sebesar $\pm 1,70g$ disebut F_a (tegangan yang diijinkan). Dengan demikian, nilai σ_y / F_a adalah angka keamanan yang resmi pada perhitungan baja atas dasar konsep elastis.

Penurunan Rumus Shape Factor

Berdasarkan pada gambar 3.a, disini tampang dalam keadaan permulaan leleh atau dalam keadaan elastis tetapi yang diperhitungkan lenturnya dapat dilakukan sebagai berikut:

Resultante tegangan tekan

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_y$$

Resultante tegangan tarik

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_y = D$$

Momen max

$$(MY) = D \cdot z = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_y \cdot \frac{2}{3} \cdot h = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \cdot \sigma_y$$

Dimana z = lengan momen Koppel dalam $= \frac{2}{3}h$

$M_y = \frac{1}{6}bh^2 \cdot \sigma_y = W_x \cdot \sigma_y$ disini W_x dalam perhitungan umum disebut momen tahanan (*section modulus*) dalam konsep elastis.

Selanjutnya, bila dilihat gambar 3d, disini tampang telah mengalami 100% plastis, maka perhitungan lentur sebagai berikut:

$$D = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_y$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_y = D$$

Lengan momen koppel dalam $z = \frac{1}{2}h$ sehingga momen plastis

$$M_p = D \cdot z = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h^2 \cdot \sigma_y$$

Sering ditulis: $M_p = W_p \cdot \sigma_y$

Disini $W_p = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h^2$ disebut plastis modulus

Sekarang bila dibandingkan antara M_y dengan M_p , terdapat $M_p > M_y$, pengaruh besar ini adalah perbedaan antara W_p dengan W_x . Di lain pihak W_p dan W_x hanya tergantung dari dimensi penampang. Dengan demikian, perbandingan antara W_p dengan W_x yang berupa angka lebih besar dari satu disebut *shape factor* (SF).

$$SF = \frac{W_p}{W_x}$$

Bila dilihat harga $W_p = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot \frac{1}{4} \cdot h + \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot \frac{1}{4} \cdot h$ merupakan statis momen drai tampang yang berada di atas dan di bawah garis netral (garis pembagi tampang menjadi luasan yang sama besar), sehingga secara umum :

$$W_p = A \cdot Y$$

$$Y = \frac{S_x}{\frac{1}{2}A}$$

disini : S_x = statis momen tampang terhadap garis netral (untuk tampang simetris)

A = luas penampang

Y = jarak titik berat setengah luas tampang terhadap garis netral.

Kenyataannya bahwa makin bervariasi bentuk penampang akan memberikan W_x dan W_p yang berbeda, sehingga harga SF juga akan berbeda. Lain halnya pada konsep elastis, bentuk penampang hanya memberi pengaruh pada W_x .

Dalam rumus: $M_p = SF \cdot M_y$

METODE

Sebagai pegangan dalam pembahasan diambil dari beberapa deskripsi yang membicarakan perhitungan baja dengan konsep elastis dan dengan konsep plastis. Kemudian dari teori-teori yang ada sifat elastis dan plastis baja dihubungkan dengan masalah lenturan (perilaku tampang dalam menerima momen) sehingga dapat

ditentukan kepastian pikul momen dari suatu penampang, baik atas perilaku elastis maupun atas perilaku plastisnya.

Selanjutnya bila dibandingkan dengan kepastian momen pada akhir daerah elastis atau pada permulaan leleh, maka bisa dilihat terjadi perbedaan hasil yang menyolok antara momen meleleh permukaan dengan momen plastis, padahal tegangan leleh adalah tetap selama proses ulur/plastis berlangsung. Perbedaan ini, disamping karena pengaruh sifat uluran tadi juga dipengaruhi oleh bentuk penampang baja. Dari sini dapat dihitung pengaruh dari bentuk penampang (shape factor) yang nilainya lebih dari satu (tanpa dimensi).

Untuk lebih nyata, dari proses penentuan besarnya nilai shape factor, maka sebagai materi pembahasan dipakai contoh-contoh bentuk penampang yang umum digunakan dalam praktek dengan diberi dimensi-dimensi yang spesifik. Sedangkan untuk penampang baja yang dikeluarkan oleh standar pabrik yang biasanya dibuat suatu tabel baja profil, maka besaran yang ada pada tabel langsung dipakai dalam contoh.

STUDI KASUS

Dalam studi ini, diambil contoh kasus sebagai berikut:

Tampang Segiempat :

$$M_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \cdot \sigma_y \qquad M_p = \frac{1}{4} b \cdot h^2 \sigma_y$$

$$W_x = \frac{1}{6} b h \qquad W_p = \frac{1}{4} b \cdot h$$

$$\text{Shape factor (SF)} = \frac{W_p}{M_y} = \frac{W_p}{W_x} = 1,5$$

Bila diperhitungkan dengan konsep elastis:

$\sigma_a = 1400 \text{ kg/cm}^2$ maka ada angka keamanan sebesar:

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_a} = \frac{2400}{1400} = 1,714$$

Jadi dapat dilihat bahwa teori elastis bila tampang segiempat angka keamanan yang sebenarnya diambil adalah:

$$= 1,714 \cdot \text{SF}$$

$$= 1,714 \cdot 1,5 = 2,57$$

Disini angka 1,5 merupakan angka keamanan yang tersembunyi dari teori elastis.

Baja Tampang INP

Misalnya kita ambil pada daftar profil baja INP. Pada daftar sudah termuat luas, statis momen dan modulus section, sehingga SF langsung bisa dihitung untuk masing-masing nomor INP, sebagai berikut:

| Profil INP | A (cm ²) | Sx (cm ³) | Wx (cm ²) | SF = $\frac{2S_x}{W_x}$ |
|------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| N0. 10 | 10,6 | 19,9 | 34,2 | 1,164 |
| 20 | 33,5 | 125 | 214 | 1,168 |
| 30 | 69,1 | 381 | 653 | 1,167 |
| 40 | 118 | 857 | 1460 | 1,174 |
| 50 | 180 | 1620 | 2750 | 1,178 |
| 60 | 254 | 2730 | 4630 | 1,179 |

Jadi secara kasar rata – rata SF INP = 1,172

Baja Tampang I Flens Lebar DIE

| Profil DIE | S_x (cm ³) | W_x (cm ²) | $SF = \frac{2S_x}{W_x}$ |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| NO. 10 | 40 | 69,7 | 1,148 |
| 20 | 226 | 408 | 1,107 |
| 30 | 682 | 1240 | 1,100 |
| 40 | 1290 | 2330 | 1,107 |
| 50 | 2020 | 3620 | 1,116 |
| 60 | 2750 | 4900 | 1,122 |
| 70 | 3590 | 6360 | 1,128 |
| 80 | 4590 | 8080 | 1,136 |
| 90 | 5710 | 10000 | 1,142 |
| 100 | 6580 | 11470 | 1,147 |
| SF rata-rata : 1,1253 | | | |

Baja Tampang I Flens Lebar DIN

| Profil DIN | A (cm ²) | S_x (cm ³) | W_x (cm ²) | $SF = \frac{2S_x}{W_x}$ |
|------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| No. 10 | 28,1 | 56 | 94,5 | 1,172 |
| 20 | 82,7 | 337 | 595 | 1,132 |
| 30 | 154 | 959 | 1720 | 1,115 |
| 40 | 209 | 1700 | 3030 | 1,122 |
| 50 | 255 | 2550 | 4530 | 1,126 |
| 60 | 289 | 3410 | 6030 | 1,131 |
| SF rata – rata = 1,133 | | | | |

Baja Tampang I Flens Lebar DIL

| Profil DIL | A (cm ²) | S_x (cm ³) | W_x (cm ²) | $SF = \frac{2S_x}{W_x}$ |
|------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| No 10 | 26,9 | 55 | 94,3 | 1,166 |
| 20 | 72,1 | 307 | 551 | 1,114 |
| 30 | 145 | 929 | 1680 | 1,106 |
| 40 | 192 | 1610 | 2890 | 1,114 |
| 50 | 236 | 2420 | 4330 | 1,118 |
| 60 | 267 | 3230 | 5760 | 1,121 |
| SF rata – rata : 1,123 | | | | |

Baja Tampang I Flens Lebar DIR

| Profil DIR | A (cm ²) | S_x (cm ³) | W_x (cm ²) | $SF = \frac{2S_x}{W_x}$ |
|------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| No. 10 | 44 | 93 | 152 | 1,223 |
| 20 | 136 | 584 | 991 | 1,178 |
| 30 | 299 | 1970 | 3370 | 1,169 |
| 40 | 327 | 2750 | 4760 | 1,155 |
| 50 | 341 | 3490 | 6080 | 1,148 |
| 60 | 362 | 4330 | 7560 | 1,145 |
| 70 | 381 | 5220 | 9130 | 1,143 |
| 80 | 402 | 6190 | 10790 | 1,147 |
| 90 | 423 | 7200 | 12500 | 1,152 |
| 100 | 444 | 8280 | 14330 | 1,155 |
| SF rata – rata = 1,162 | | | | |

Baja Tampang yang Istimewa Lainnya

Dengan mudah dapat dihitung:

- | | |
|--|-----------|
| a) untuk penampang lingkaran | SF = 1,7 |
| b) untuk tampang cincin | SF = 1,27 |
| c) untuk tampang bujur sangkar berdiri pada sudutnya | SF = 2,0 |

Analisis Kasus

Berdasarkan perhitungan shape factor terlihat bahwa profil I mempunyai shape factor antara 1,10 s/d 1,178. Jadi, dapat dipahami shape factor untuk profil I memberi keamanan antara 10% s/d 17%, sehingga baik untuk analisis elastis maupun analisis plastis, perbedaan M_Y dan M_p tidak begitu berarti, akibatnya bentuk – bentuk profil tersebut memang efisien. Dalam analisis praktis untuk profil berpenampang I nilai SF diambil sekitar 1,12. Sebaiknya untuk tampang-tampang segiempat, lingkaran, dan cincin akan terjadi penerobosan bahan bila perhitungannya atas konsep elastis sehingga jarang dipergunakan dalam praktik. Dengan kata lain, karena shape factor (SF) suatu angka keamanan yang tersembunyi yang ikut masuk dalam perhitungan, sehingga bagaimanapun angka keamanan yang berlebihan dalam desain adalah pemborosan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1). Baja adalah satu-satunya bahan bangunan dengan sifat unik, yaitu mampu mengalami ulur yang besar tanpa mengalami kerusakan sebelum mencapai fase putus.
- 2) Suatu penampang akibat beban semua serat mengalami leleh, maka tampang tersebut dikatakan telah leleh 100%, atau 100% mengalami plastis dan momen yang terjadi disebut momen plastis yang jauh lebih besar daripada momen yang terjadi di daerah elastis.
- 3). Perbandingan antara momen plastis dan momen akhir daerah elastis berupa suatu nilai yang disebut shape factor (SF).
- 4). Nilai SF tergantung pada bentuk dan dimensi penampang suatu profil baja yang berbeda-beda untuk masing-masing dimensi, walaupun mempunyai bentuk yang sejenis.
- 5). Pada perhitungan dengan konsep elastis SF adalah angka keamanan yang tersembunyi. Jadi angka keamanan yang sebenarnya yang tersedia pada konsep elastis adalah:

$$\sigma = \frac{\sigma_y}{\sigma_a} . SF$$

- 6). Shape factor bukan merupakan satu-satunya angka keamanan yang tersembunyi dalam konsep elastis, karena ada hal-hal lain, yaitu fase penggeseran baja dan derajat kestatisan ketidaktentuan struktur.

SARAN

Beberapa saran yang disampaikan dalam kesempatan ini, yaitu

- 1). Sebaiknya jika situasi dan peraturan mengizinkan konstruksi baja didesain atas konsep plastis.
- 2). Jika karena sesuatu hal konstruksi baja terpaksa didesain atas konsep elastis hendaknya profil/penampang baja yang dipilih mempunyai shape factor yang kecil (mendekati satu), sehingga pemborosan bahan dapat ditekan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. 1980. *Manual of Steel Construction*. 8th Edition. New York.
- ASCE-WRC. 1971. *Plastic Design in steel- A Guide and commentary*. ASCE, New York.
- Beedle, Lynn S. 1985. *Plastic Design of Steel Frames*. John Willy and Sons, INC. New York.
- Bowles, Joseph E. 1980. *Structural Steel Design*, MC. Graw hill New York.
- Hannis Burhan, *Plastic Design dalam Konstruksi Baja*. Lab. Konstruksi Baja ITB, Bandung
- Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI 1983). Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Robert O, Disque. 1971. *Applied Plastic Design in Steel*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Sunggono, KH, 1984. *Buku Teknik Sipil*. Penerbit Nova, Bandung.
- Timoshenko, S.P and Gere, g.m. 1961. *Theory of Elastis Stability*. Mc. Graw Hill. New York.