

**MENINGKATKAN KEMAMPUAN PORTAL
UNTUK MEMIKUL BEBAN KRITIS TEKUK
DENGAN PEGAS PENGAKU**

TESIS

Oleh :

RUDY SUHERMAN RUSANDI

S2818212

Keperawatan
Universitas Pajadjaran
Jl. Sekeloa 10
BANDUNG

47902 / Sp
20
8-90



**PROGRAM TEKNIK SIPIL - STRUKTUR
FAKULTAS PASCA SARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
1985**

MENINGKATKAN KEMAMPUAN PORTAL UNTUK MEMIKUL BEBAN KRITIS TEKUK DENGAN PEGAS PENGAKU

TESIS

Sebuah tesis sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program gelar strata - 2 dari Institut Teknologi Bandung

Oleh :

RUDY SUHERMAN RUSANDI

S2818212

Perpustakaan
Institut Teknologi Bandung
Bandung



624.17
RUS
M.

**PROGRAM TEKNIK SIPIL - STRUKTUR
FAKULTAS PASCA SARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
1985**

**MENINGKATKAN KEMAMPUAN PORTAL
UNTUK MEMIKUL BEBAN KRITIS TEKUK
DENGAN PEGAS PENGAKU**

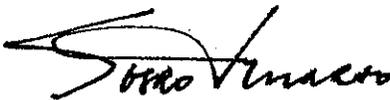
TESIS

Oleh :

RUDY SUHERMAN RUSANDI

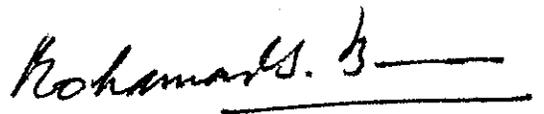
S2818212

Disetujui oleh :



Prof. DR. Ir. SOSROWINARSO

Pembimbing 2



DR. Ir. MOCH. SAHARI BESARI

Pembimbing 1

**PROGRAM TEKNIK SIPIL - STRUKTUR
FAKULTAS PASCA SARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
1985**

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada pembimbing Bapak DR.Ir.Moch. Sahari Besari, yang selalu siap sedia memberikan bimbingan, saran dan dorongan selama penulisan Tesis ini.

Penulis juga berterima kasih kepada pembimbing Bapak Prof.DR.Ir. Sosrowinarso, yang selalu berusaha meng^ugah penulis agar memperluas cakrawala peninjauan.

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada semua Bapak penguji dan penilai yang telah memberikan saran dan kritik, baik mengenai isi maupun penyajian, untuk meningkatkan mutu dari Tesis ini.

Akhirnya ucapan terima kasih penulis tujukan kepada semua pihak yang telah membantu penulis, baik secara fi - sik, moril maupun materiil dalam rangka penyelesaian studi Pasca Sarjana di Departemen Teknik Sipil, Institut Tekⁿologi Bandung.

DAFTAR ISI

	halaman
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang permasalahan	1
1.2. Ruang lingkup pembahasan	2
1.3. Metoda penyelesaian	4
1.4. Kesimpulan umum	4
II ARAH TEKUK DAN BENTUK PENAMPANG	5
2.1. Pada penampang utuh	5
2.2. Pada penampang terbuka	8
2.3. Pada penampang tertutup	8
III KARAKTERISTIK DARI MASALAH STABILITAS	12
3.1. Keadaan keseimbangan pada benda tegar	12
3.2. Analisa statis pada struktur	17
3.3. Keadaan bifurkasi	22
IV STABILITAS ELASTIS GLOBAL PADA BATANG LURUS	32
4.1. Stabilitas lentur dengan gaya normal tekan	32
4.2. Stabilitas torsi	40

	halaman	
V	PENYELESAIAN MASALAH STABILITAS	72
	5.1. Penyelesaian dengan cara eksak	73
	5.2. Penyelesaian dengan cara pendekatan	82
VI	STABILITAS PORTAL	87
	6.1. Mode tekuk pada portal	87
	6.2. Mencari beban kritis tekuk pada portal	90
VII	PENGGUNAAN PEGAS PENGAKU	120
	7.1. Pegas dipasang pada ujung batang	120
	7.2. Pegas dipasang pada lapangan	127
	7.3. Pegas dipasang pada kolom dari suatu portal	142
VIII	KESIMPULAN	180
	DAFTAR PUSTAKA	182

DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
LAMPIRAN A Program computer dengan "Displacement Method"	183
LAMPIRAN B Program computer dengan "Direct Element Method"	190

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Bentuk-bentuk umum penampang utuh	7
Gambar 2.2 Bentuk-bentuk penampang terbuka dari baja	9
Gambar 2.3 Bentuk-bentuk penampang tertutup	10
Gambar 3.1 Keadaan keseimbangan benda tegar	16
Gambar 3.2 Grafik energi potensial E_p dan variasinya terhadap gangguan	16
Gambar 3.3 Keseimbangan rangka batang untuk lendutan kecil	20
Gambar 3.4 Hubungan linear antara beban - lendutan	20
Gambar 3.5 Keseimbangan rangka batang untuk lendutan besar	21
Gambar 3.6 Hubungan non linear antara beban - lendutan	21
Gambar 3.7 Sistim batang kaku dengan perletakan jepit elastis	26
Gambar 3.8 Garis keseimbangan untuk sistim yang ideal	26
Gambar 3.9 Garis-garis keseimbangan dan daerah keseimbangan	31
Gambar 3.10 Sifat-sifat E_p dan variasinya untuk sistim yang ideal	31

DAFTAR GAMBAR

		halaman
Gambar 4.1	Keseimbangan batang yang melentur akibat gaya normal tekan	37
Gambar 4.2	Hubungan antara tegangan kritis dan angka kelangsingan	39
Gambar 4.3	Reduksi-reduksi tegangan sekitar batas leleh bahan	39
Gambar 4.4	Batang silindris akibat torsi	42
Gambar 4.5	Profil I akibat torsi	42
Gambar 4.6	Profil I akibat torsi pada balok terjepit sebelah	44
Gambar 4.7	Deformasi pada tekuk-lentur-torsi	50
Gambar 4.8	Perpendekan aksial pada batang yang melentur	54
Gambar 4.9	Lendutan elemen batang pada sistim koordinat ruang	54
Gambar 4.10	Rotasi serat terhadap titik pusat geser	56
Gambar 4.11	Lentur keluar bidang pembebanan	65
Gambar 4.12	Balok persegi tipis akibat lentur murni	65
Gambar 4.13	Komponen-komponen vektor momen M_x	69
Gambar 6.1	Harga-harga batas beban kritis tekuk pada portal dengan dan tanpa goyangan	88
Gambar 6.2	Mode-tekuk pada portal dalam keadaan seimbang	92

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 6.3	Keseimbangan elemen batang yang mengalami rotasi dan translasi 96
Gambar 6.4	Kendala elastis pada ujung-ujung batang tertekan 104
Gambar 6.5	Generalisasi gaya-node dan displacement-node pada elemen batang 109
Gambar 6.6	Gaya-node dan displacement pada struktur dan pada elemen portal 109
Gambar 7.1	Pegas normal/rotasi pada batang dengan perletakan sendi/jepit pada salah satu ujungnya 126
Gambar 7.2	Pegas normal dilapangan pada batang tertekan dengan perletakan sendi-rol 135
Gambar 7.3	Pegas normal dilapangan pada batang tertekan dengan perletakan jepit sebelah 141
Gambar 7.4	Pegas normal pada kolom tertekan portal dua sendi 149
Gambar 7.5	Pegas normal pada kolom tertekan portal terjepit 158
Gambar 7.6	Penomoran elemen, derajat kebebasan dan gaya dalam pada portal 160
Gambar 7.7	Diagram "free-body" untuk elemen dan titik hubungan 161

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 7.8 Derajat kebebasan, gaya dalam, goyangan titik-node dan gaya lintang elemen	168
Gambar 7.9 Penomoran elemen, derajat kebebasan dan gaya dalam pada portal dengan memasukkan pegas sebagai elemen portal	170
Gambar 7.10 Lengkung beban kritis tekuk - kekakuan pegas untuk portal terjepit	177
Gambar 7.11 Lengkung beban kritis tekuk - kekakuan pegas untuk portal dua sendi	178
Gambar 7.12 Lengkung gabungan untuk portal terjepit dan portal dua sendi	179

Perpustakaan
Universitas Indonesia, Jember
Jl. Sekeloa Timur No. 1
B A N G S A

DAFTAR TABEL

		halaman
Tabel 2.1	Panjang tekuk dan beban kritis	11
Tabel 4.1	Syarat batas pada ujung batang	38
Tabel 6.1	Koefisien α_n dan α_f persamaan slope-deflection	101
Tabel 6.1	Koefisien α_n dan α_f persamaan slope-deflection(lanjutan)	102
Tabel 7.1	Pengaruh pegas pada beban kritis kolom portal (perletakan jepit)	165
Tabel 7.2	Pengaruh pegas pada beban kritis kolom portal (perletakan sendi)	166
Tabel 7.3	Perbandingan pengaruh pegas pada beban kritis kolom portal (perletakan jepit)	172
Tabel 7.3	Perbandingan pengaruh pegas pada beban kritis kolom portal (perletakan jepit)-lanjutan	173
Tabel 7.4	Perbandingan pengaruh pegas pada beban kritis kolom portal (perletakan sendi)	175
Tabel 7.4	Perbandingan pengaruh pegas pada beban kritis kolom portal (perletakan sendi)-lanjutan	176

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

A	Luas penampang batang/balok
[A]	Matrix yang mentransformasikan gaya node elemen kedalam gaya node struktur
[B]	Matrix yang mentransformasikan deformasi struktur kedalam deformasi elemen
b	Lebar penampang balok
d_i	Deformasi struktur ke-i
E	Modulus elastisitas bahan
E_e	Energi regang akibat gaya luar
E_e^*	Energi regang virtual akibat gaya luar
E_i	Energi regang akibat gaya dalam
E_i^*	Energi regang virtual akibat gaya dalam
E_p	Energi potensial total
F	Gaya dalam struktur
FE	Gaya dalam elemen
G	Modulus geser
GJ	Kekakuan torsi penampang
h	Tinggi penampang balok
I_x	Momen inersia terhadap sumbu - x
$I_{x\alpha}$	Momen inersia terhadap sumbu - $x\alpha$
i_x	Jari-jari inersia penampang terhadap sumbu - x
I_y	Momen inersia terhadap sumbu - y
i_y	Jari-jari inersia penampang terhadap sumbu - y
I_z	Momen inersia terhadap sumbu - z

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

I_f	Momen inersia flens
J	Konstanta torsi penampang
K	Kekakuan lentur ($= \frac{EI}{l}$)
[K]	Matrix kekakuan struktur
K_{ij}	Koefisien kekakuan struktur
k	Notasi untuk masalah tekuk ($= \sqrt{\frac{P}{EI}}$)
[k]	Matrix kekakuan elemen
k_{ij}	Koefisien kekakuan elemen
l	Panjang batang/balok
lk	Panjang tekuk
lkx	Panjang tekuk terhadap sumbu - x
lky	Panjang tekuk terhadap sumbu - y
M_x	Momen lentur terhadap sumbu - x
M_y	Momen lentur terhadap sumbu - y
M_z	Momen lentur terhadap sumbu - z
M_f	Momen lentur pada flens
N	Gaya normal pada penampang
NF	Penomoran gaya dalam struktur
NFE	Penomoran gaya dalam elemen
NP	Penomoran derajat kebebasan struktur
NPE	Penomoran derajat kebebasan elemen
NPSE	Penomoran gaya goyang elemen

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

P	Beban luar terpusat yang bekerja
P_k	Beban kritis tekuk terkecil
P_{kr}	Beban kritis tekuk
P_x	Beban tekuk-lentur terhadap sumbu - x
P_y	Beban tekuk-lentur terhadap sumbu - y
P_ϕ	Beban tekuk-torsi
$[P_s]$	Matrix gaya goyang struktur
PSE_i	Gaya goyang elemen ke-i
Q	Gaya lintang pada potongan
Q_f	Gaya lintang pada flens
Q_z	Gaya lintang pada potongan dalam arah sumbu - z
R_x	Resultanta gaya-gaya dalam arah sumbu - x
r	Jari-jari penampang lingkaran
S	Gaya batang pada struktur rangka batang
T	Momen torsi
T_{sv}	Sint Venant torsion
T_w	Warping torsion
U	Energi potensial akibat gaya dalam
U_{sv}	Energi regang akibat Sint Venant torsion
U_w	Energi regang akibat warping torsion
W_i	Gaya-node struktur ke-i
W_x	Momen perlawanan penampang terhadap sumbu - x
W_y	Momen perlawanan penampang terhadap sumbu - y
w	Lendutan

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

$\bar{\alpha}_0$	Konstanta pegas normal pada $x=0$
$\bar{\alpha}_1$	Konstanta pegas normal pada $x=1$
$\alpha(\frac{EI}{l^3})$	Kekakuan pegas normal dinyatakan dalam satuan $(\frac{EI}{l^3})$ dari kolom portal
β	Sudut puntir pada penampang
$\bar{\beta}_0$	Konstanta pegas rotasi pada $x=0$
$\bar{\beta}_1$	Konstanta pegas rotasi pada $x=1$
γ	Kekakuan pegas normal langsung $(= \frac{EA}{l})$
δ	Lambang untuk menyatakan variasi
δ	Lendutan pada suatu titik peninjauan
δ_i	Generalisasi displacement elemen ke-i
λ_x	Angka kelangsingan batang terhadap sumbu - x
λ_y	Angka kelangsingan batang terhadap sumbu - y
ξ	Perbandingan EI balok terhadap EI kolom kali perbandingan tinggi kolom terhadap panjang balok
π	Konstanta yang besarnya = 3,14159
Σ	Lambang yang menyatakan jumlah
σ	Lambang untuk menyatakan tegangan lentur dan tegangan normal
φ	Lambang untuk putaran sudut balok atau simpangan pada benda tegar
Ω	Energi potensial akibat gaya luar

Disp.Meth Displacement method

DirElMet Direct element method

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang permasalahan

Sesuai dengan keinginan Arsitek dewasa ini, tuntutan struktural pada bangunan menghendaki kolom-kolom yang langsing. Akibatnya masalah tekuk yang merupakan bagian dari masalah stabilitas struktur menjadi dominan.

Keruntuhan struktur karena terjadinya kegagalan kolom berakibat sangat fatal dan struktur ini sudah tidak dapat diperbaiki lagi. Oleh karena itu kegagalan kolom harus dihindari. Kegagalan kolom dapat disebabkan karena antara lain semakin besarnya bahaya tekuk pada kolom yang langsing.

Salah satu cara untuk mengurangi bahaya tekuk adalah dengan meningkatkan kemampuan struktur dalam hal memikul beban aksial tekan. Disini akan digunakan balok penghubung portal-portal yang dipasang pada kolom-kolom. Pengaruh dari balok penghubung ini digantikan oleh pegas fiktif yang selalu mengurangi deformasi portal, terutama akibat goyangan.

Pendapat sebelum ini mengatakan bahwa peningkatan beban kritis tekuk dilakukan dengan cara memasang penunjang yang secara langsung bekerja sebagai batang tekan. Disini mode-tekuk berubah menjadi mode yang lebih tinggi.

1.2. Ruang lingkup pembahasan

Studi mengenai pegas pengaku ini dibatasi pada portal sederhana tidak bertingkat yang simetris. Akibat pemasangan balok penghubung antara kolom-kolom portal, maka pengaruh dari balok penghubung dapat digantikan oleh : pegas normal horizontal, pegas normal vertikal dan pegas rotasi, yang bekerja pada titik pertemuan antara balok penghubung dan kolom portal. Ketiga macam pegas tadi dianggap hanya bekerja pada bidang portal.

1. Pegas normal horizontal yang berfungsi mengurangi lendutan horizontal dari kolom portal, yang terutama timbul karena portal bergoyang. Lendutan horizontal ini mempunyai harga yang cukup berarti dibandingkan dengan lendutan vertikal kolom portal akibat goyangan. Oleh karena itu, pegas normal horizontal, yang selanjutnya dinamakan pegas normal, mempunyai pengaruh yang paling besar diantara pegas lainnya.
2. Pegas normal vertikal yang berfungsi mengurangi lendutan vertikal kolom portal, yang terutama timbul karena portal bergoyang. Jelaslah bahwa lendutan vertikal ini sangat kecil. Oleh karena itu pegas normal vertikal mempunyai pengaruh yang sangat kecil dan tidak perlu ditinjau dalam analisa.

3. Pegas rotasi yang timbul karena kekakuan torsi dari balok penghubung, dalam hal ini tidak diperhitungkan, agar analisa menjadi sederhana.

Dengan demikian, pengaruh dari balok penghubung, cukup digantikan oleh pegas normal. Kekakuan dari pegas ini didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk menimbulkan lendutan horizontal balok penghubung sebesar satu satuan.

Penurunan persamaan karakteristik untuk masalah stabilitas didasarkan pada cara keseimbangan elemen. Dalam hal ini ada beberapa anggapan teknik yang digunakan berdasarkan anggapan Euler-Bernoulli⁽⁹⁾, yang meliputi :

1. Sifat bahan dari elemen yang ditinjau adalah homogen dan isotropis.
2. Bidang rata tetap tinggal rata setelah elemen melentur.
3. Kurva tegangan-regangan adalah identik untuk tarik dan tekan.
4. Tidak ditinjau masalah tekuk lokal.
5. Pengaruh gaya geser tidak diperhitungkan.
6. Beban dan momen lentur bekerja pada bidang yang melalui sumbu utama penampang.
7. Hukum Hooke berlaku.
8. Lendutan kecil terhadap ukuran penampang.

Untuk masalah yang lebih besar, seperti pada portal sembarang bertingkat dengan banyak kolom, persamaan karakteristik tidak diturunkan. Dalam hal ini perhitungan secara manual sudah tidak memungkinkan lagi. Oleh karena itu penyelesaian dibantu dengan program komputer.

1.3. Metoda penyelesaian

Disini digunakan dua cara yaitu cara keseimbangan dan cara energi. Pada cara keseimbangan ditinjau keseimbangan elemen yang sudah melentur. Sedangkan pada cara energi, penyelesaian dibantu dengan prinsip energi potensial stasioner.

1.4. Kesimpulan umum

Secara garis besar dapat disimpulkan bahwa peningkatan kemampuan portal untuk memikul beban kritis tekuk dengan pegas pengaku sangat memungkinkan.

Peningkatan ini terutama tergantung pada jenis perletakan portal.

Pada portal dengan perletakan sendi, peningkatan ini sangat berarti. Sedangkan pada portal dengan perletakan jepit, peningkatan agak terbatas, tetapi tetap masih mempunyai arti penting.

BAB II

ARAH TEKUK DAN BENTUK PENAMPANG

Pada suatu batang yang hanya menahan gaya aksial tekan, dengan memperbesar gaya aksial tadi akan timbul kemungkinan batang tersebut menekuk dalam bidang yang lemah dari penampang. Artinya menekuk terhadap sumbu penampang yang memberikan momen inersia pusat utama terkecil (I_y) atau terhadap sumbu penampang yang memberikan angka kelangsingan terbesar (λ_y).

Dari beberapa penampang melintang yang sering dijumpai dalam praktek, akan dianalisa kemungkinan tekuknya.

2.1. Pada penampang utuh

Akan ditinjau tiga bentuk, yaitu bentuk bujur sangkar, bentuk bulat dan bentuk persegi.

Pada penampang berbentuk bujur sangkar dan bentuk bulat seperti pada Gambar 2.1a dan Gambar 2.1b, maka setiap sumbu yang melalui pusat adalah sumbu inersia pusat utama. Hal ini jelas dapat dilihat dari hubungan : $I_x \alpha = I_x \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha$, sedangkan $I_x = I_y$. Jadi pada penampang ini terdapat banyak sekali kemungkinan arah tekuk.

Pada penampang berbentuk persegi seperti pada Gambar 2.1c, hanya ada dua sumbu inersia pusat utama. Jadi pada penampang persegi hanya ada satu kemungkinan arah tekuk terhadap sumbu y.

Besarnya momen inersia penampang terhadap masing-masing sumbu x dan sumbu y adalah : $I_x = \frac{bh^3}{12}$ dan $I_y = \frac{b^3h}{12}$. Karena ukuran $h > b$, maka $I_x > I_y$, sehingga batang akan menekuk terhadap sumbu y .

Atau bila menggunakan angka kelangsingan λ terhadap masing-masing sumbu x dan sumbu y, didapat :

$$\lambda_x = \frac{l_{kx}}{i_x} = \frac{l_{kx}}{0,289 h}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{l_{ky}}{0,289 b}$$

dimana :

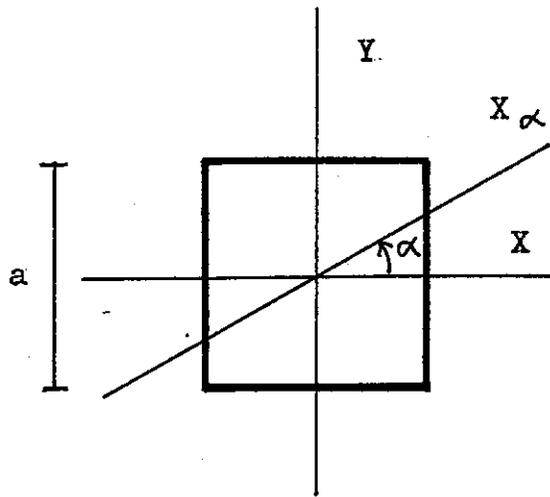
l_{kx} = panjang tekuk dalam arah sumbu x

l_{ky} = panjang tekuk dalam arah sumbu y

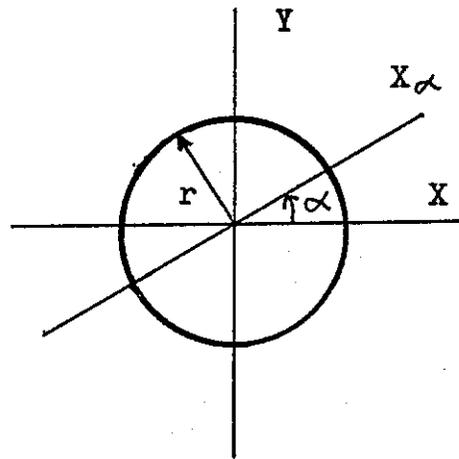
i_x = jari-jari inersia pusat utama dalam arah sumbu x

i_y = jari-jari inersia pusat utama dalam arah sumbu y

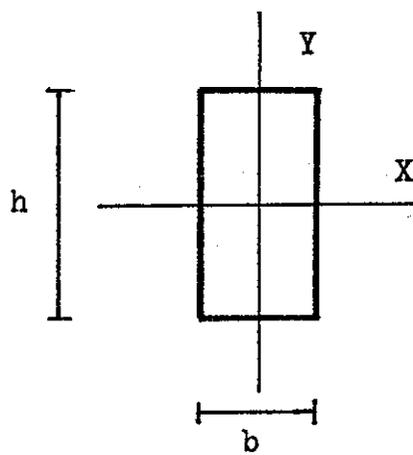
Apabila $l_{kx} = l_{ky}$, maka $\lambda_x < \lambda_y$, sehingga batang akan menekuk terhadap sumbu y.



a.



b.



c.

Gambar 2.1. Bentuk-bentuk umum penampang utuh

2.2. Pada penampang terbuka

Umumnya dijumpai pada profil dari baja yang merupakan penampang berdinding tipis; pada penampang dari beton bertulang berupa balok T dan balok L; dan penampang tersusun dari kayu berupa penampang I dan penampang T. Bentuk-bentuk penampang terbuka dari baja diperlihatkan pada Gambar 2.2.

Pada penampang terbuka ini hanya ada satu kemungkinan arah tekuk, yaitu terhadap sumbu yang menghasilkan momen inersia pusat utama terkecil.

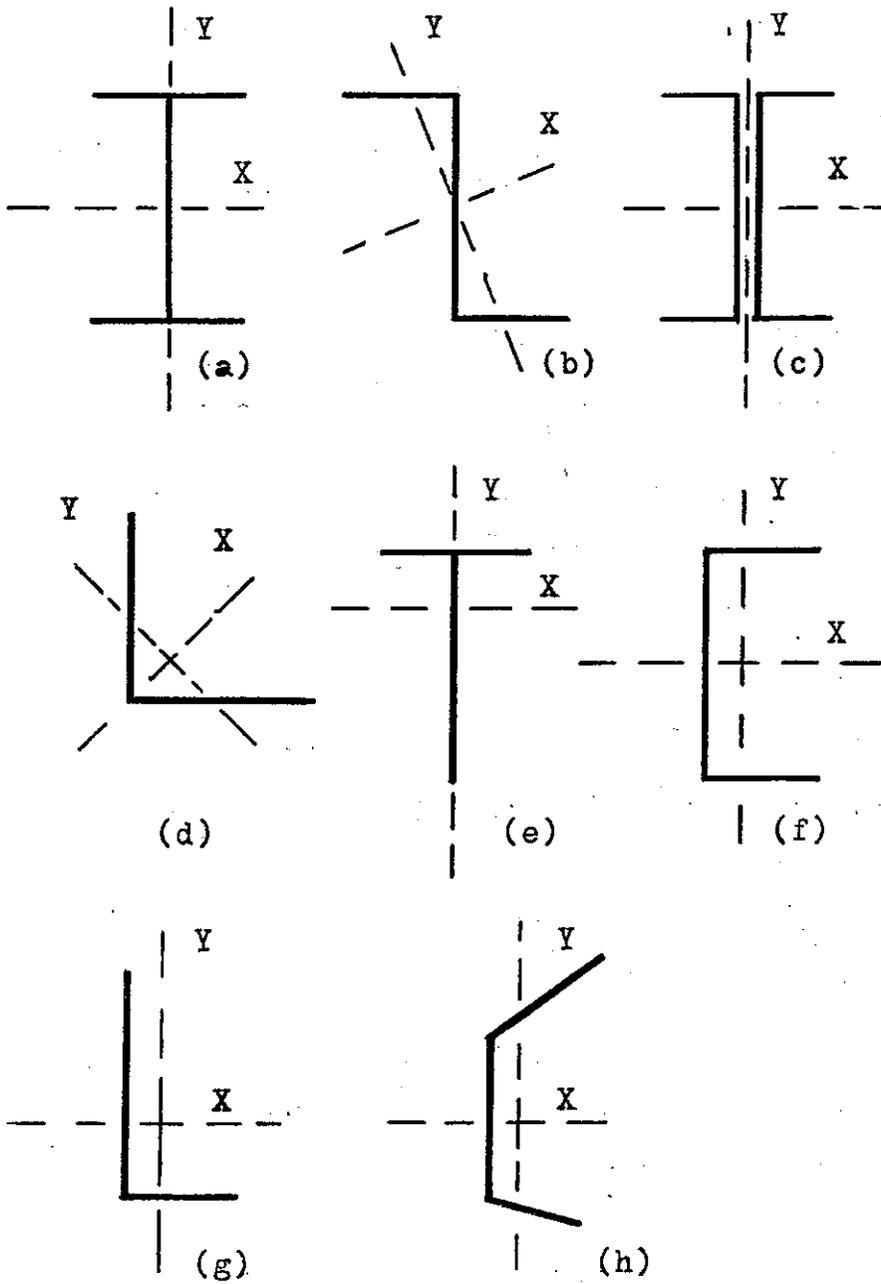
Pada penampang ini disamping adanya kemungkinan bahaya tekuk akibat gaya normal tekan, juga masih ada kemungkinan tekuk-lentur dan tekuk-lentur-torsi, yang akan dibahas lebih lanjut pada Bab IV.

2.3. Pada penampang tertutup

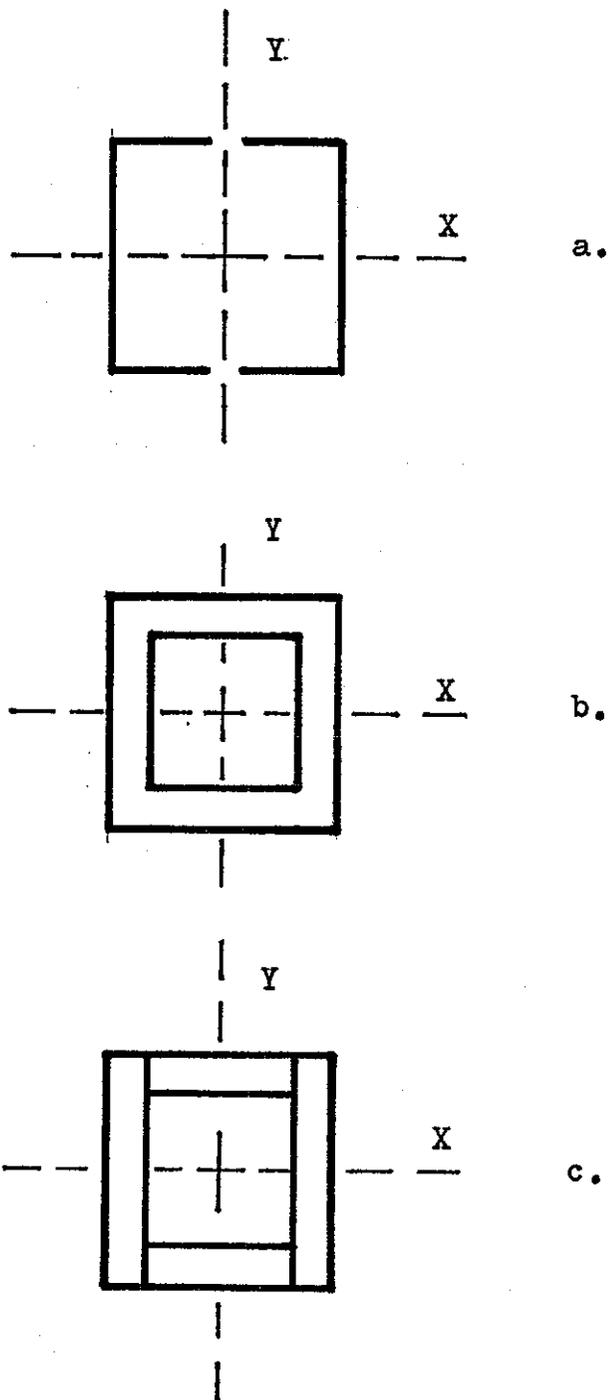
Umumnya dijumpai pada profil baja yang merupakan gabungan dari dua profil yang berbentuk kanal; pada penampang box beton dan pada penampang box kayu yang disusun, seperti pada Gambar 2.3.

Pada penampang tertutup ini hanya ada satu kemungkinan arah tekuk terhadap sumbu yang menghasilkan momen inersia pusat utama terkecil.

Pada struktur yang sederhana beban kritis tekuk dan panjang tekuk mudah didapat. Sebagai pembandingan, dibuat Tabel 2.1. untuk beberapa jenis perletakan ujung.

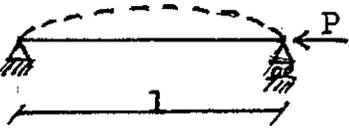
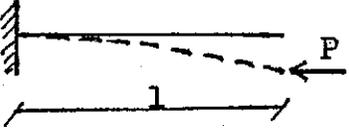
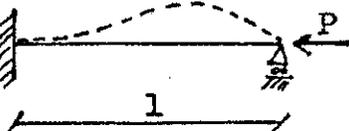


Gambar 2.2. Bentuk-bentuk penampang terbuka dari baja



Gambar 2.3. Bentuk-bentuk penampang tertutup

Tabel 2.1. Panjang tekuk dan beban kritis tekuk

jenis perletakan ujung	s i m b o l	panjang tekuk (lk)	P_{kritis}
SENDI - ROL		1	$\frac{\pi^2 EI}{lk^2}$
JEPIT - BEBAS		2 l	$\frac{\pi^2 EI}{lk^2}$
JEPIT - JEPIT BERGESER		$\frac{1}{2} l$	$\frac{\pi^2 EI}{lk^2}$
JEPIT - ROL		0,6992 l	$\frac{\pi^2 EI}{lk^2}$