

691.7
691
u c.1



LAPORAN AKHIR PENELITIAN

KAJIAN HUBUNGAN ANTARA DIMENSI PENGAKU VERTIKAL DENGAN BEBAN KRITIS TEKUK LATERAL DAN TORSI PADA BATANG BAJA BERPROFIL TERBUKA

Oleh :

Ir.Sri Tadjono MS

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO

DIBIYAI OLEH BAGIAN PENINGKATAN KUALITAS SUMBERDAYA
MANUSIA, DIREKTORAT JENDRAL PENDIDIKAN TINGGI, DEPARTEMEN
PENDIDIKAN NASIONAL, TAHUN ANGGARAN 2001

UPT-PUSTAK-UNDIP

LAPORAN PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : Kajian Hubungan Antara Dimensi Pengaku Vertikal Dengan Beban Kritis Tekuk Lateral dan Torsi Pada Batang Baja Berprofil Terbuka
b. Bidang Ilmu/Teknologi : Pengembangan IPTEK
c. Kategori Penelitian : I dan II
2. Ketua Peneliti
a. Nama lengkap dan gelar : Ir. Sri Tudjono, MS
b. Jenis Kelamin : Laki-laki
c. Golongan/Pangkat/NIP : IIIId/Penata Tk. I/130 937 128
d. Jabatan Fungsional : Lektor
e. Jabatan Struktural : Staf Pengajar
f. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Sipil
g. Pusat Penelitian : Universitas Diponegoro
3. Susunan Tim Peneliti : Ketua merangkap anggota
4. Lokasi Penelitian : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNDIP
5. Bila penelitian merupakan kerjasama dengan institusi lain, sebutkan
a. Nama Institusi : ---
b. Alamat : ---
6. Lama Penelitian : 8 bulan
7. Biaya Penelitian : Rp. 5.000.000,- (Lima Juta Rupiah)
8. Sumber Dana : Dirjen Dikti, Depdiknas Th. Anggaran 2000/2001

Semarang, 26 Oktober 2001

Mengetahui
Dekan
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro



Prof. Dr. dr. I. Riwanto, MEng
NIP. 130 916 595

Ketua Peneliti

Ir. Sri Tudjono, MS
NIP. 130 937 128

Mengetahui
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Diponegoro

Prof. Dr. dr. I. Riwanto, Sp.BD
NIP. 130 529 454

* Staf pengajar : Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro

STUDY OF CORELATION BETWEEN DIMENSIONS OF VERTICAL STIFFNERS AND THE LATERAL TORSIONAL BUCKLING LOAD OF OPEN SECTION STEEL MEMBERS

Sri Tudjono *

2001
52 Pages

SUMMARY

A study of the role of vertical stiffener on the open section steel members by finite element methods. Analysis use spherical element which configuration is Total Lagrangian and the iteration use Risk Wepner method. The problem of the rotation freedom of the node on the interseccion of elements which its are not in one surface, be solved by substitution the rotation freedom of the node of each element with the rotation freedom of the node which had been decided. The substitution will make the freedom of the node be 6 that is normaly 5. This method give more efficiently and rapidly analysis than penalty element method by Zuyan Shen and Qilin Zhang 1992.

Usually the vertical stiffner be only used to make the web plate not buckle. By this study, it can be proved that the vertical stiffner can improved the lateral torsional buckling load. The larger thickness of stiffner give the larger critical load.

* Lectures : Civil Engeeneering Department
 Engineering Faculty
 Diponegoro University

DAFTAR ISI

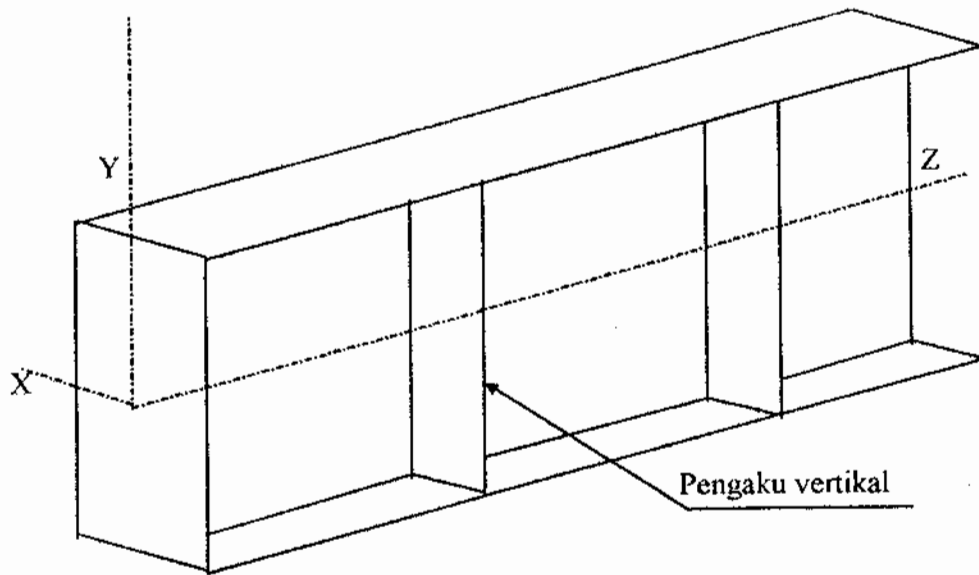
BAB		Halaman
	DAFTAR ISI	i
	DAFTAR LAMPIRAN	ii
I	PENDAHULUAN	1
	I.1 MASALAH	1
	I.2 PENDEKATAN MASALAH	4
	I.3 PELAKSANAAN PENELITIAN	5
II	TINJAUAN PUSTAKA	9
III	METODA ELEMEN HINGGA	14
	III.1 PENDAHULUAN	14
	III.2 GEOMETRI TIDAK LINIER	15
	III.3 FORMULASI ELEMEN HINGGA ISOPARAMETRIK	19
	III.4 FORMULASI TOTAL LAGRANGIAN	27
	III.5 ITERASI METODA BUSUR KONSTAN	38
	III.6 KONDISI BATAS	40
	III.7 ANALISIS METODA ELEMEN HINGGA	42
IV	KESIMPULAN DAN SARAN	49
	DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR LAMPIRAN

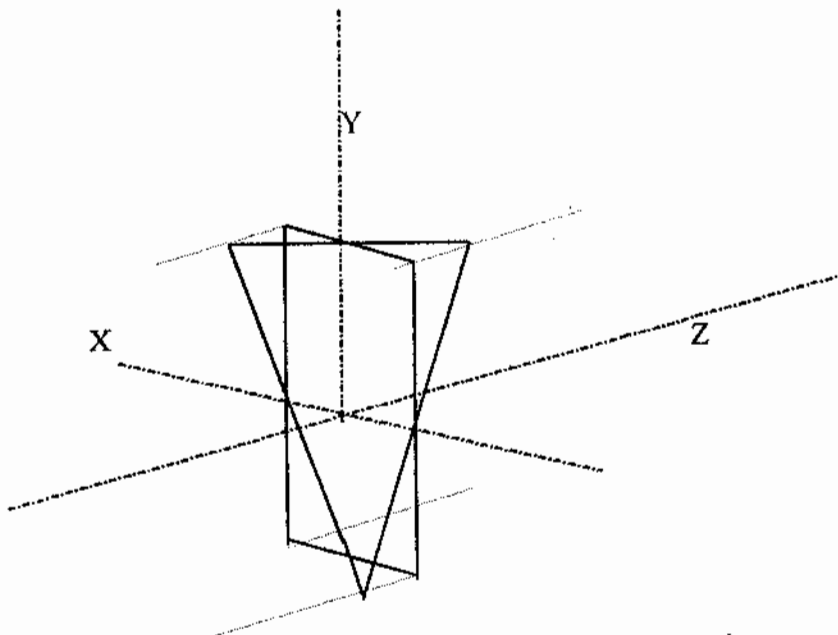
1. PROGRAM METODA ELEMEN HINGGA	LAMPIRAN A
2. KURVA CRISFIELD & PRODUK PROGRAM	LAMPIRAN B
3. INPUT DATA & OUT PUT PROGRAM MEH	LAMPIRAN C

I. PENDAHULUAN

I.1. MASALAH

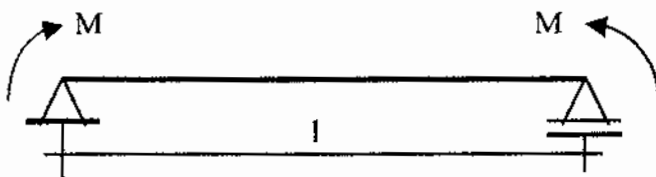


Gambar 1.1 : Balok baja IWF dengan pengaku vertikal



Gambar 1.2 : Pengaku vertikal terpuntir

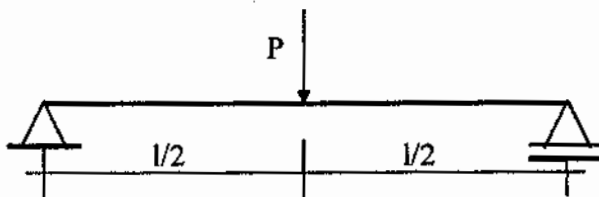
Bahan baja termasuk bahan yang berkekuatan cukup tinggi, sehingga untuk menghemat penggunaan bahan, diupayakan untuk bisa menyebarkan bahan sejauh mungkin dari titik berat penampang. Upaya demikian akan menyebabkan profil baja cenderung pipih, yang apabila mengalami beban baik lentur maupun lentur dengan gaya aksial tekan akan rawan terhadap bahaya tekuk lateral dan torsi. Menurut referensi (1), balok profil I yang mengalami lentur murni dengan kedua ujung tertumpu sederhana yang dianalisa pada tingkat orde pertama (keseimbangan pada kondisi tidak berubah bentuk) memberikan hubungan antara momen kritis saat terjadi tekuk elatis dengan ukuran penampang seperti berikut :



Gambar 1.3 : balok tertumpu sederhana dibebani momen di kedua ujungnya

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \sqrt{EI_y \left(GJ + EI_w \frac{\pi^2}{l^2} \right)} \quad (1.1)$$

Sedang untuk beban terpusat ditengah bentang adalah seperti berikut :



Gambar 1.4 : balok tertumpu sederhana memikul beban terpusat

$$P_{cr} = \frac{4\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{3}{\pi^2 + 6} EI_y \left(GJ + EI_w \frac{\pi^2}{l^2} \right)} \quad (1.2)$$



Gambar 1.5 : batang memikul gaya normal tekan

$$N_{cr} = \frac{\pi^2}{l^2} EA \left(\frac{I_w}{I_p} + \frac{l^2}{\pi^2} \frac{GJ}{EI_p} \right) \quad (1.3)$$

Dimana :

I_y = Momen inersia penampang dalam arah sumbu tegak/lateral

I_p = Momen inersia polar (= $I_x + I_y$)

G = Modulus geser

E = Modulus elastisitas

l = Panjang balok

J = Momen inersia torsi St.Venant

I_w = Konstanta warping

Rumusan yang tersebut diatas dihasilkan dari analisis yang menganggap penampang tidak berubah bentuk atau tidak mengalami distorsi. Asumsi tersebut umumnya tidak berlaku pada balok yang tinggi, karena saat beban mencapai beban kritis penampang mengalami distorsi. Beban kritis yang ada lebih kecil dari beban kritis yang didapat dari rumusan diatas. Penggunaan pengaku vertikal pada tempat tempat tertentu, ternyata bisa mengurangi pengaruh distorsi penampang.

Akay, Johnson dan Will 1977 yang membandingkan beban kritis pada balok hasil analisis dengan metoda klasik (penampang tidak berubah bentuk) dan finite element tidak linier, penggunaan pengaku vertikal pada tempat tertentu memberikan beban kritis yang mendekati beban kritis hasil metoda klasik.

Albert, Essa & Kennedy 1992 yang menyajikan beban kritis balok dengan overstek tanpa pengaku vertikal dan dengan pengaku vertikal yang ditempatkan pada titik dimana beban terpusat bekerja juga menunjukkan hasil yang sama.

Owen Hughes dan Ming Ma 1992 mengkaji lateral distortional buckling pada balok simetri tunggal yang mengalami beban terpusat dan hasilnya menunjukkan bahwa untuk balok yang saat terjadi buckling badan mengalami distorsi formulasi beban kritis klasik memberikan beban kritis yang over estimate. Penggunaan fungsi asumsi perpindahan lateral dari badan berupa polinom orde lima memberikan hasil yang sangat dekat dengan hasil analisa elemen hingga ABAQUS.

Pada usulan penelitian ini akan dicoba untuk mengkaji seberapa jauh peran dari pengaku vertikal yang dipasang dengan suatu interval tertentu dalam arah aksial pada peningkatan beban kritis. Disamping mencegah lipatan badan akibat geser seperti pada girder dan mencegah distorsi penampang seperti tersebut diatas, keberadaan pengaku vertikal bisa memberikan kekakuan lateral dan kekakuan torsi yang lebih besar bila tanpa pengaku vertikal, sehingga diharapkan beban kritis bisa meningkat tidak hanya sebatas beban kritis metoda klasik tapi bisa lebih besar lagi. Sampai saat ini tuntunan penggunaan pengaku vertikal ditujukan untuk upaya mencegah tekuk vertikal akibat beban terpusat dan tekuk akibat geser pada balok girder. Tuntunan yang mengatur penggunaan pengaku vertikal untuk peningkatan beban kritis baik pada balok, kolom atau balok kolom belum ada. Sehingga diharapkan hasil penelitian ini bisa memberikan masukan bagi tuntunan tersebut.

1.2. PENDEKATAN MASALAH

Untuk mengetahui peranan pengaku vertikal pada beban kritis tekuk akan dilakukan pengamatan dengan membandingkan hasil analisa dan eksperimental

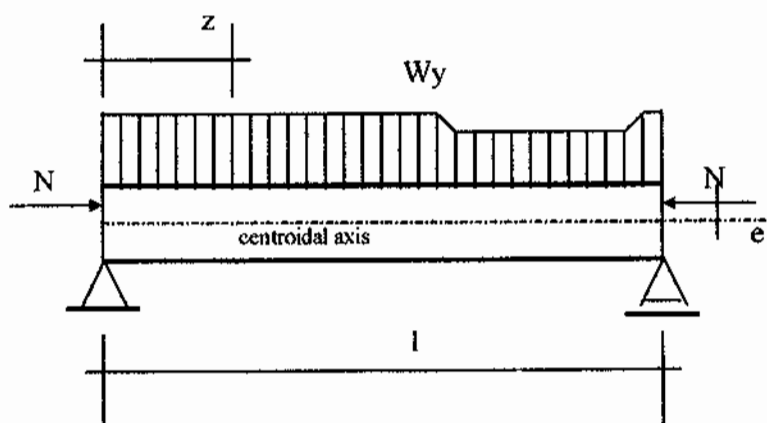
uji beban dari batang yang polos dengan yang menggunakan pengaku vertikal. Batang-batang polos yang dipergunakan adalah yang bisa mewakili buckling tanpa distorsi badan dan yang mengalami distorsi badan. Analisa yang dipergunakan adalah analisa metoda elemen hingga dan analisa matematik numerik. Diharapkan dari ketiga hasil analisa akan bisa dilihat secara akurat seberapa jauh peningkatan beban kritis dengan menggunakan pengaku vertikal.

1.3. PELAKSANAAN PENELITIAN

Seperti yang tersebut dalam pendekatan masalah, pelaksanaan penelitian dilakukan melalui 3 jalur yakni :

1.3.1. Analitis :

Untuk pembebanan lentur dengan gaya normal pada balok yang tidak mengalami distorsi badan yang tertumpu sederhana, persamaan diferensial saat tekuk adalah :



Gambar 1.6 : Balok tertumpu sederhana dengan beban

$$EI_y u'''' + N u + M \beta = 0. \quad (1.4)$$

$$EI_w \beta'''' + \left(N \frac{I_p}{A} - GJ + e N \frac{Z}{I_x} \right) \beta'' - a W_y \beta + M u'' = 0. \quad (1.5)$$

dimana :

$$M = M_w + N y_o + N e \quad (1.6)$$

a = jarak dimana W_y bekerja terhadap pusat geser.

y_o = jarak pusat penampang terhadap pusat geser.

$$Z = 2 y_o I_x - \int_A y (x^2 + y^2) dA \quad (1.7)$$

Persamaan ini masih berlaku pada bagian batang antara pengaku vertikal. Masing masing lapangan antar 2 pengaku vertikal akan mempunyai konstanta integrasi yang berbeda. Dari kondisi batas akan didapat sistem persamaan homogen. Beban kritis akan didapat dengan cara coba coba yang bisa memberikan determinan matriks koefisien persamaan homogen sama dengan nol. Analisis hanya bisa dilakukan untuk beban momen yang konstan. Untuk beban momen yang tidak konstan harus dengan pendekatan numerik energi.

1.3.2. Energi

Sesuai referensi (m) Energi potensial gaya dalam tekuk elastis pada pembebanan momen konstan adalah seperti berikut :

$$\begin{aligned} U = & \frac{1}{2} \int_0^L (E I_y (u'')^2 + E I_w (\beta'')^2 + G J (\beta')^2 - 2 N u'^2 \\ & - 2 N (y_o + e) u' \beta' + 2 M_w u'' \beta - N \left(\frac{I_p}{A} + e \frac{Z}{I_x} \right) \beta'^2 - a W_y \beta^2) dz \\ & + \sum_{j=1}^n \frac{1}{2} T_{pvj} \beta'_{pvj} + \sum_{j=1}^n \frac{1}{2} E I_{ypvj} (u''_{pvj})^2 t_{pv} \end{aligned} \quad (1.8)$$

dimana :

U = Energi potensial total.

T_{pv} = torsi pengaku vertikal.

n = banyak pengaku vertikal.

Penggunaan Metoda Rayleigh-Ritz (merupakan pendekatan teori variasi) pada fungsi deret Fourier untuk perpindahan akan didapat beban kritis pendekatan. Makin banyak suku deret Fourier, jawaban beban kritis akan konvergen ke jawaban benar.

1.3.3. Elemen Hingga

Untuk mencari beban kritis dengan dipergunakan metoda elemen hingga cangkang non linier geometri yang mengacu pada formulasi Total Lagrangian. Elemen yang dipergunakan adalah elemen segi empat isoparametrik dengan 9 nodal yang masing masing nodal mempunyai 5 displacement, 3 translasi 2 rotasi. Penyusunan kekakuan elemen dipergunakan integrasi Gauss dan untuk iterasi dipergunakan metoda busur konstannya Risk & Wepner yang dimodifikasi dengan Modified Newton Rapsion yang dibatasi oleh toleransi kesalahan yang ditentukan. Pada pertemuan nodal dari dua elemn atau lebih yang saling tegak lurus diperlukan penanganan masalah hubungan kebebasan rotasi nodal gabungan 3 DOF dengan kebebasan rotasi nodal elemen 2 DOF. Pendekatan ini akan bisa digambarkan kurva hubungan beban – perpindahan sehingga harga pendekatan beban kritis akan bisa didapat.

1.3.4. Eksperimental

Untuk menyiapkan pelaksanaan uji laboratorium harus dipersiapkan peralatan pendukung dan benda uji.

Peralatan Pendukung :

- Kolom support : kolom pendukung support balok.

- Loading frame gerak : frame untuk pembebanan yang bisa memberikan beban eksentris.
- Horizontal support roller : roller untuk support yang memberi kesempatan support bisa bergerak dalam arah horisontal.
- Sendi : untuk support yang bisa memberi kesempatan gerak rotasi dalam bidang vertikal.
- Aksial roller : roller untuk support yang memberi kesempatan gerak aksial dalam sumbu vertikal.
- Fork support : support vertikal yang bisa menahan perpindahan lateral tapi bisa memberi kesempatan gerak horisontal dalam arah sumbu balok.
- Sistem Pembeban : suatu perangkat yang bisa menyalurkan beban kebawah dan bisa memberi kesempatan gerak sayap atas balok bergerak horisontal dan bisa menahan roller loader saat terjadi buckling.

Benda Uji :

Benda uji berupa balok IWF 250x125 polos dan IWF 250x125 dengan 13 pengaku vertikal tebal 8 mm. Panjang benda uji 5.125 m. Benda uji polos mengalami buckling elastis sedang yang dengan pengaku vertikal tidak mengalami buckling.

1.3.5. MOTIVASI

Pengaku vertikal selama ini hanya bisa dipergunakan secara terukur untuk mencegah tekuk vertikal (lipat) badan akibat beban atau gaya reaksi. Diharapkan dari penelitian ini peranan pengaku vertikal pada peningkatan beban kritis tekuk lateral dan torsi bisa diukur sehingga apabila peningkatan ini bisa dimanfaatkan maka penggunaan bahan bisa lebih efisien dan hemat.