

DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL		
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR		
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR		
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR		
ABSTRAK	vi	
ABSTRACT	vii	
KATA PENGANTAR	viii	
DAFTAR ISI	x	
DAFTAR GAMBAR	xii	
DAFTAR TABEL	xiii	
DAFTAR LAMPIRAN	xiv	
DAFTAR SINGKATAN	xv	
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1.	Latar Belakang	1
1.2.	Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.3.	Ruang Lingkup Permasalahan	3
1.4.	Metode Penelitian dan Penulisan	3
1.5.	Sistematika Penulisan	4
BAB II	LANDASAN TEORI	
2.1.	Pendahuluan	5
2.2.	<i>Finite Element Method</i>	5
2.3.	GNU Octave	5
2.4.	Pemilihan Elemen	6
2.5.	<i>Beam Element</i>	7
2.6.	<i>Three-Nodes Beam Element</i>	10
2.7.	Stabilitas dan Instabilitas Struktur	18
2.8.	<i>Buckling</i> Elastis	18
2.9.	<i>Geometric Stiffness Matrix</i>	20
2.10.	Beban Nodal Ekuivalen	23
2.11.	<i>Eigenvalue</i> dan <i>Eigenvector</i>	28
2.12.	<i>Buckling</i> Sebagai Permasalahan <i>Eigenvalue</i>	28
BAB III	METODE PENELITIAN	
3.1.	Pendahuluan	30
3.2.	Struktur Program	30
3.3.	Input	31
3.4.	Properti Geometri dan Material	33
3.5.	Input <i>Boundary Condition</i>	34
3.6.	Matriks Kekakuan	35

3.7.	Aplikasi <i>Boundary Condition</i>	36
3.8.	Eigenvector dan Eigenvalue	38
3.9.	<i>Plotting Mode Shape</i>	39
3.10.	Verifikasi Matriks Kekakuan.....	41
3.10.1.	Input.....	42
3.10.2.	Matriks Kekakuan	42
3.10.3.	<i>Boundary Condition</i>	43
3.10.4.	Matriks Beban	45
3.10.5.	<i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment Diagram</i>	47
BAB IV	PENGEMBANGAN PROGRAM ANALISIS <i>BUCKLING</i> KOLOM EULER	
4.1.	Pendahuluan.....	49
4.2.	Verifikasi Matriks Kekakuan.....	49
4.2.1.	Permasalahan Pertama.....	50
4.2.2.	Permasalahan Kedua	53
4.3.	<i>Output</i> Program	57
4.3.1.	Tipe Elemen	58
4.3.2.	Tipe Penampang	60
4.3.3.	Kombinasi Tumpuan	61
4.3.4.	Jumlah Elemen	67
4.3.4.1.	Tumpuan Sendi-Sendi	67
4.3.4.2.	Tumpuan Sendi-Jepit Rotasi	69
4.3.4.3.	Tumpuan Jepit-Jepit	72
4.3.4.4.	Tumpuan Jepit-Sendi.....	76
4.3.4.5.	Tumpuan Jepit-Bebas.....	78
4.3.4.6.	Tumpuan Jepit-Jepit Rotasi.....	81
BAB V	PENUTUP	
5.1.	Kesimpulan.....	85
5.2.	Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

halaman

Gambar 2.1	<i>Interface</i> GNU Octave.....	6
Gambar 2.2	Bentuk Deformasi Kolom Euler dengan Tumpuan Sendi-Sendi	6
Gambar 2.3	Elemen Balok	7
Gambar 2.4	Elemen Balok dengan Tiga Nodal.....	11
Gambar 2.5	Bentuk <i>Buckling</i> Kolom (Galambos and Surovek, 2008)	19
Gambar 2.6	Hubungan ds dengan dx (Cook et al., 2002)	21
Gambar 2.7	Contoh Pembebanan Merata	25
Gambar 2.8	Beban Nodal Ekuivalen untuk Beban Segitiga	26
Gambar 2.9	Pemodelan Beban Terpusat	27
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Program Analisis <i>Buckling</i> Bagian 1	30
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Program Analisis <i>Buckling</i> Bagian 2	31
Gambar 3.3	<i>Flochart</i> Program Analisis Struktur Balok	41
Gambar 3.4	Konvensi Tanda SFD dan BMD	47
Gambar 4.1	Permasalahan Pertama.....	50
Gambar 4.2	Diagram SFD dan BMD Permasalahan Pertama.....	51
Gambar 4.3	<i>Output</i> SFD dan BMD Program untuk Permasalahan Pertama.....	52
Gambar 4.4	Permasalahan Kedua	53
Gambar 4.5	Diagram SFD dan BMD Permasalahan Kedua	56
Gambar 4.6	<i>Output</i> SFD dan BMD Program untuk Permasalahan Kedua	57
Gambar 4.7	<i>Buckling Load</i> Elemen Balok Dua Nodal	58
Gambar 4.8	<i>Mode Shape</i> Elemen Balok Dua Nodal.....	59
Gambar 4.9	<i>Buckling Load</i> Elemen Balok Tiga Nodal.....	59
Gambar 4.10	<i>Mode Shape</i> Analisis Elemen Balok Tiga Nodal	60
Gambar 4.11	Permintaan Input Penampang Persegi	60
Gambar 4.12	Permintaan Input Penampang Lingkaran	61
Gambar 4.13	Permintaan Input Penampang <i>Wide-Flange</i>	61
Gambar 4.14	<i>Buckling Load</i> Tumpuan Jepit-Jepit Rotasi.....	62
Gambar 4.15	<i>Mode Shape</i> Analisis Tumpuan Sendi-Jepit Rotasi	62
Gambar 4.16	<i>Buckling Load</i> Tumpuan Jepit-Jepit.....	63
Gambar 4.17	<i>Mode Shape</i> Analisis Tumpuan Jepit-Jepit	63
Gambar 4.18	<i>Buckling Load</i> Tumpuan Jepit-Sendi.....	64
Gambar 4.19	<i>Mode Shape</i> Analisis Tumpuan Jepit-Sendi.....	64
Gambar 4.20	<i>Buckling Load</i> Tumpuan Jepit-Bebas.....	65
Gambar 4.21	<i>Mode Shape</i> Analisis Tumpuan Jepit-Bebas	65
Gambar 4.22	<i>Buckling Load</i> Tumpuan Jepit-Jepit Rotasi.....	66
Gambar 4.23	<i>Mode Shape</i> Analisis Jepit-Jepit Rotasi	66
Gambar 4.24	<i>Convergence Check</i> untuk Tipe Tumpuan Sendi-Sendi.....	69
Gambar 4.25	<i>Convergence Check</i> untuk Tumpuan Sendi-Jepit Rotasi	72
Gambar 4.26	<i>Convergence Check</i> untuk Tumpuan Jepit-Jepit	75
Gambar 4.27	<i>Convergence Check</i> untuk Tumpuan Jepit-Sendi.....	78
Gambar 4.28	<i>Convergence Check</i> untuk Tumpuan Jepit-Bebas	81
Gambar 4.29	<i>Convergence Check</i> untuk Tumpuan Jepit-Jepit Rotasi.....	84

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 3.1	Format Input <i>Boundary Condition</i> 43
Tabel 3.2	Format Input Pembebanan..... 45
Tabel 4.1	Input Standar Program <i>EulerColumn</i> 58
Tabel 4.2	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Sendi-Sendi Menggunakan Jumlah Elemen yang Divariasikan 67
Tabel 4.3	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Sendi-Sendi Menggunakan Jumlah Elemen yang Kurang dari Lima 68
Tabel 4.4	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Sendi-Jepit Rotasi Menggunakan Tipe Elemen Dua Nodal..... 69
Tabel 4.5	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Sendi-Jepit Rotasi Menggunakan Tipe Elemen Tiga Nodal 71
Tabel 4.6	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Jepit-Jepit Menggunakan Tipe Elemen Dua Nodal 73
Tabel 4.7	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Jepit-Jepit Menggunakan Tipe Elemen Tiga Nodal 74
Tabel 4.8	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Jepit-Sendi Menggunakan Tipe Elemen Dua Nodal 76
Tabel 4.9	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Jepit-Sendi Menggunakan Tipe Elemen Tiga Nodal 77
Tabel 4.10	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Jepit-Bebas Menggunakan Tipe Elemen Dua Nodal 79
Tabel 4.11	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Jepit-Bebas Menggunakan Tipe Elemen Tiga Nodal 80
Tabel 4.12	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Jepit-Jepit Rotasi Menggunakan Tipe Elemen Dua Nodal..... 82
Tabel 4.13	Hasil Simulasi dengan Tumpuan Jepit-Jepit Rotasi Menggunakan Tipe Elemen Tiga Nodal 83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A

Beban Nodal Ekuivalen Elemen Balok Dua Nodal.....	A-1
Beban Nodal Ekuivalen Elemen Balok Tiga Nodal	A-2

Lampiran B

<i>Script EulerColumn</i>	B-1
<i>Function CrossSection()</i>	B-5
<i>Function SupportType()</i>	B-7
<i>Function LocalStiffnessIndex()</i>	B-8
<i>Function BeamElementStiffness()</i>	B-9
<i>Function GlobalBeamAssemble()</i>	B-10
<i>Function BoundaryCondition()</i>	B-11
<i>Function PlotModeShapes()</i>	B-12
<i>Function Theory()</i>	B-13

Lampiran C

<i>Script BeamAnalysis</i>	C-1
<i>Function LocalStiffnessIndex()</i>	C-4
<i>Function BeamElementStiffness()</i>	C-5
<i>Function GlobalBeamAssemble()</i>	C-6
<i>Function ForceMatrix()</i>	C-7
<i>Function PlotDiagram()</i>	C-8

DAFTAR SINGKATAN

- A - Area penampang.
 b - Lebar penampang persegi.
 $b1$ - Lebar sayap bawah penampang *wide-flange*.
 $b2$ - Lebar sayap atas penampang *wide-flange*.
 $bc1$ - Tumpuan bawah kolom, dapat berupa jepit (C) atau sendi (P).
 $bc2$ - Tumpuan atas kolom, dapat berupa jepit (C), sendi (P), bebas (F), dan jepit rotasi (R).
 bcm - Gabungan dari $bcm1$ dan $bcm2$.
 $bcm1$ - Vektor indeks *boundary condition* bawah kolom.
 $bcm2$ - Vektor indeks *boundary condition* atas kolom.
 bmd - Vektor nilai momen yang disimpan untuk *plotting* BMD.
 cs - Tipe penampang Kolom Euler.
 d - Matriks deformasi lengkap.
 d_{nz} - Deformasi arah z pada nodal n .
 dc - Matriks deformasi yang terpotong atau tereduksi.
 dp - Matriks deformasi yang diekstrak dari matriks d menggunakan indeks st dan en .
 E - Modulus Elastisitas.
 ϵ_m - Regangan terhadap sumbu x .
 $edof$ - Jumlah derajat kebebasan per elemen.
 el - Panjang elemen lokal.
 ell - Koordinat nodal.
 en - Nilai indeks akhir yang digunakan untuk menentukan baris yang diperlukan dari matriks deformasi d .
 F - Matriks beban sistem.
 f - Cell input pembebanan.
 ϕ_{ny} - Rotasi terhadap sumbu y pada nodal n .
 Fc - Matriks beban sistem yang sudah dipotong atau direduksi.
 f_n - Gaya atau beban pada nodal n .
 fp - Matriks gaya dan momen yang didapatkan dalam analisis SFD dan BMD dari perkalian kd dengan dp .
 ffs - Matriks *array* yang digunakan untuk menyimpan matriks beban per elemen lokal.
 $gend$ - Nilai terakhir dalam indeks.
 gst - Nilai pertama dalam indeks.
 h - Tinggi penampang persegi/tinggi penampang *wide-flange*.
 I - Momen inersia minimum.
 I_x - Momen inersia terhadap sumbu x .
 I_y - Momen inersia terhadap sumbu y .
 K_a - Matriks *array* yang digunakan untuk menyimpan matriks kekakuan per elemen global (*Beam Analysis*).
 k_a - Matriks *array* yang digunakan untuk menyimpan matriks kekakuan per elemen lokal.
 Kc - Matriks kekakuan yang sudah dipotong atau direduksi.

- K_e - Matriks kekakuan elastis sistem global, digunakan K dalam program.
 k_e - Matriks kekakuan elastis elemen lokal, digunakan k dalam program.
 KG - Matriks kekakuan elastis sistem keseluruhan (*Beam Analysis*).
 K_g - Matriks kekakuan geometris sistem global, digunakan Kg dalam program.
 k_g - Matriks kekakuan geometris elemen lokal, digunakan kg dalam program.
 kp - Matriks kekakuan elemen yang diekstrak dari matriks ka untuk digunakan dalam perhitungan SFD dan BMD.
 L - Panjang/tinggi struktur.
 LL - Panjang elemen global (*Beam Analysis*).
 l - Sama dengan el .
 ll - Jarak antar nodal.
 $Lmin$ - Panjang/tinggi minimum kolom langsing.
 lne - Jumlah elemen lokal.
 $lnnode$ - Jumlah nodal per elemen global (*Beam Analysis*).
 $lsdof$ - Jumlah derajat kebebasan elemen global (*Beam Analysis*).
 $lvec$ - Vektor koordinat nodal.
 $lvecsb$ - Vektor koordinat nodal yang digunakan untuk *plotting* SFD dan BMD.
 $M(x)$ - Persamaan momen terhadap x .
 $m(x)$ - Sama dengan $M(x)$.
 m - Gradien persamaan beban (*BeamAnalysis*).
 m_n - Momen pada nodal n
 N - Matriks *Hermite Shape Function*.
 nb - Jumlah *boundary condition*.
 nc - Jumlah potongan yang telah dilakukan, diperbaharui setiap pemotongan.
 ne - Jumlah elemen global.
 $ndof$ - Jumlah derajat kebebasan masing-masing nodal.
 nm - Jumlah *mode shape*.
 $nnel$ - Jumlah nodal per elemen.
 nno - Jumlah nodal sistem.
 pg - Variabel yang digunakan untuk mendapatkan halaman dimana matriks kekakuan untuk elemen yang ditinjau disimpan.
 $Q(x)$ - Persamaan gaya geser terhadap x .
 r - $\sqrt{\frac{I}{A}}$, radius girasi minimum dalam *script EulerColumn*. Radius penampang lingkaran dalam fungsi *CrossSection()*.
 $rffs$ - Matriks *ffs* yang dibentuk ulang menjadi satu matriks memanjang.
 $sdec$ - Deskripsi kombinasi tumpuan.
 $sdof$ - Jumlah derajat kebebasan sistem.
 sfd - Vektor nilai gayar geser yang disimpan untuk *plotting* SFD.
 $spno$ - baris yang kolom yang merepresentasi kan derajat kebebasan yang ditahan oleh tumpuan.

Spt	- Matriks input tumpuan (<i>Beam Analysis</i>).
spv	- vektor indeks yang menyimpang kolom dan baris yang dipotong.
st	- Nilai indeks awal yang digunakan untuk menentukan baris yang diperlukan dari matriks deformasi d .
$tf1$	- Tebal sayap bawah.
$tf2$	- Tebal sayap atas.
tne	- Jumlah elemen lokal dalam sistem (<i>BeamAnalysis</i>).
tw	- Tebal web.
U	- Energi regangan total
U_b	- Energi regangan akibat lentur.
U_m	- Energi regangan membran.
u_z	- Persamaan defleksi balok.
V	- Vektor koordinat perpindahan nodal (<i>EulerColumn</i>).
V_n	- Gaya geser pada nodal n .
$v(x)$	- Persamaan defleksi elemen terhadap x .
$valb$	- <i>Eigenvalue</i> .
$vecb$	- <i>Eigenvector</i> hasil analisis eigenvalue.
W	- Vektor koordinat original kolom (<i>EulerColumn</i>).
Ω	- Energi potensial akibat beban.
$w(x)$	- Persamaan beban (<i>BeamAnalysis</i>).

