

# STUDI NUMERIKAL METODE ELEMEN HINGGA SAMBUNGAN BALOK–KOLOM BAJA TIPE *CLIP–ANGLE CONNECTIONS*

YONATHAN ADITYA SANTOSO  
NRP: 0821002

Pembimbing : Dr. YOSAFAT AJI PRANATA, S.T., M.T.  
Pembimbing Pendamping : NOEK SULANDARI, Ir., M.Sc

## ABSTRAK

Penggunaan struktur baja yang dapat di terapkan dalam lapangan adalah untuk pembangunan baja, gudang atap suatu gedung atau sekolah, sebagai rangka konstruksi suatu jembatan dan konstruksi pengeboran lepas pantai. Sambungan balok ke kolom dapat di klasifikasikan menjadi sambungan kaku, sambungan geser sederhana, sambungan semi kaku. Metode Elemen Hingga ( *Finite Element Method*, FEM ) adalah suatu metode numerik dengan tujuan memperoleh pemecahan pendekatan dari suatu persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*, PDE).

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari simulasi numerik metode elemen hingga dengan perangkat lunak komputer untuk studi kasus sambungan balok ke kolom, Membandingkan hasil simulasi numerik metode elemen hingga dengan hasil eksperimental dari Jong-Wan Hu<sup>1</sup>, Roberto T. Leon<sup>2</sup>, and Eunsoo Choi<sup>3</sup>, March 2011.

Dari hasil simulasi numerikal dapat diperoleh informasi mengenai *slip* pada baut, yaitu 0,0411 mm (untuk beban 200000 N). Mengingat toleransi lubang baut adalah 2 mm maka *slip* ini terjadi masih dalam rentang celah antara lubang baut dengan permukaan baut. Kesimpulannya sambungannya kaku. Pada beban 200000 N ( beban batas Proposional), lendutan pada balok yang terjadi adalah sebesar 1,056 mm. Berdasarkan ketentuan ijin batasan yang diijinkan adalah sebesar  $\frac{PL^3}{192EI}$  atau 1,99 mm. Artinya pada rentang beban elastik, lendutan yang terjadi masih memenuhi batasan ijin. Artinya pada rentang beban elastik, lendutan yang terjadi masih memenuhi batasan ijin. Simulasi numerikal dengan perangkat lunak ADINA mempunyai manfaat yaitu, dapat digunakan untuk mengetahui besarnya *slip* pada sambungan.

**Kata Kunci:** sambungan balok-kolom, *clip-angle*, metode elemen hingga, elastik.

# NUMERICAL ELEMENT METHOD TO STUDY STEEL BEAM-COLUMN CONNECTION ANGLE CLIP-TYPE CONNECTIONS

YONATHAN ADITYA SANTOSO  
NRP: 0821002

Supervisor : Dr. YOSAFAT AJI PRANATA, S.T., M.T.  
Co-Supervisor : NOEK SULANDARI, Ir., M.Sc

## ABSTRACT

The Use of steel structure that can be of steel shed roof of a building or a school, a frame construction of a bridge and construction of offshore drilling. Beam to column connections can be classified into rigid connections, the connection is simple shear, semi-rigid connections. Finite Element Method (*Finite Element Method*, FEM) is a numerical method in order to obtain an approximation of the solution of partial differential equations (*Partial Differential Equation*, PDE).

The purpose of this research to study the finite element method numerical simulations with the computer software, comparing the results of numerical simulations of the finite element method with experimental result from Jong-Wan Hu<sup>1</sup>, Roberto T. Leon<sup>2</sup>, and Eunsoo Choi<sup>3</sup>, March 2011.

From the numerical simulation results can be obtained information about the slip on the bolt, which is 0,0411 mm ( to 200000 N load). The tolerance of the bolt holes are 2 mm then the slip is occurring is in the range of the gap between the screw holes with surface of the bolt. To sum up stiff joint. At 200000 N load ( proportional limit load), the beam deflections that occurs is 0f 1,056 mm Permit

under the provisions of the allowable limit is equal to  $\frac{PL^3}{192EI}$  or 1,99 mm. This

means that the range of elastic load, deflection could still meet the permit limits. Numerical simulation with ADINA software has benefits that can be used to determine the amount of *slip* on connection

**Keywords** : Beam-column connections, *clip-angle*, finite element method, elastic.

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN .....	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN .....	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR .....	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix

## BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja .....	6
2.1.1. Perilaku Tegangan dan Regangan .....	8
2.1.2. Sifat Mekanis Baja .....	9
2.1.3. Jenis Profil Baja Struktur .....	9
2.1.4. Struktur Balok Baja WF.....	10
2.2 Sambungan Baja.....	19
2.2.1 Tipe Sambungan Baja .....	20
2.2.2 Sambungan Baut .....	25
2.3 Metode Elemen Hingga.....	27
2.3.1 Perangkat Lunak Adina.....	28
2.3.2 Material Elastis Nonlinier .....	28
2.3.3 Elemen <i>3-D Solid</i> .....	29
2.3.4 <i>Material</i> .....	30
2.3.5 <i>Merge</i> .....	31
2.3.6 <i>Substract</i> .....	31
2.3.7 <i>Constraint</i> .....	31
2.3.8 <i>Contact</i> .....	31
2.3.9 <i>Meshing</i> .....	31
2.3.10 <i>Time Function</i> .....	32

2.3.11 <i>Time Step</i> .....	32
2.3.12 <i>Solution Process</i> .....	32
2.3.13 Metode ADINA .....	33
<b>BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN</b>	
3.1 Data Sambungan Baja dan Data Material .....	36
3.2 Analisis Sambungan Baja .....	37
3.3 Analisis Metode Elemen Hingga .....	42
3.3.1 Pemodelan Kolom dan Pemodelan Balok .....	43
3.3.2 Pemodelan <i>Clip-Angle</i> .....	46
3.3.3 Pemodelan Baut .....	47
3.3.4 Pemodelan Tumpuan .....	48
3.3.5 Pemodelan <i>Material</i> .....	49
3.3.6 Pemodelan Pembebanan .....	50
3.3.7 Pemodelan <i>Merge</i> .....	51
3.3.8 Pemodelan <i>Constraint</i> .....	52
3.3.9 Pemodelan <i>Contact</i> .....	52
3.3.10 Pemodelan <i>Meshing</i> .....	55
3.3.11 <i>Control</i> .....	56
3.4 Pembahasan .....	58
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
4.1 Kesimpulan .....	68
4.2 Saran .....	68
DAFTAR PUSTAKA .....	69
LAMPIRAN .....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Model 3D Sambungan Baja Dengan Baut.....	2
Gambar 1.2	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.....	4
Gambar 2.1	Diagram Tegangan-Regangan Baja.....	8
Gambar 2.2	Profil-profil Standar <i>Hot Rolled</i> .....	10
Gambar 2.3	Elemen Tarik dan Tekan, Kondisi Elastis .....	11
Gambar 2.4	Diagram Distribusi Tegangan Lentur .....	11
Gambar 2.5	Balok yang Ditumpu Lateral .....	14
Gambar 2.6	Perilaku Balok .....	15
Gambar 2.7	( 1 ) <i>Rigid Connections</i> , ( 2 ) <i>Simple Shear Connections</i> , ( 3 ) <i>Semi-Rigid Connections</i> .....	20
Gambar 2.8	<i>Double-Angle Connections</i> .....	22
Gambar 2.9	<i>Shear End-Plate Connections</i> .....	22
Gambar 2.10	<i>Single-Plate Connections</i> .....	23
Gambar 2.11	<i>Single-Angle Framing Connections</i> .....	23
Gambar 2.12	<i>Unstiffened Seated Connections</i> .....	24
Gambar 2.13	<i>Stiffened Seated Connections</i> .....	24
Gambar 2.14	Perilaku tegangan-regangan dari model material nonlinier elastis.....	29
Gambar 2.15	Tipe-tipe elemen <i>3-D solid</i> .....	30
Gambar 3.1	Sambungan <i>Clip-Angle</i> .....	36
Gambar 3.2	Profil IWF.....	37
Gambar 3.3	Data Hasil Penelitian [Jong-Wan Hu <sup>1</sup> , Roberto T. Leon <sup>2</sup> , and Eunsoo Choi <sup>3</sup> , March, 2011, <i>International Journal of Steel Structures</i> ] .....	39
Gambar 3.4	Baut yang Ditinjau.....	41
Gambar 3.5	Tampilan <i>New Model ADINA</i> .....	42
Gambar 3.6	Tampilan <i>Define body</i> .....	43
Gambar 3.7	<i>Input data balok dan kolom</i> .....	44
Gambar 3.8	Tampilan <i>Body Number 1</i> .....	44
Gambar 3.9	Tampilan Kolom.....	44
Gambar 3.10	Tampilan <i>Body Number 8</i> .....	45
Gambar 3.11	Tampilan <i>Balok-Kolom</i> .....	45
Gambar 3.12	Tampilan <i>Body Number 15</i> .....	46
Gambar 3.13	Tampilan Balok-Kolom-Pelat .....	46
Gambar 3.14	Tampilan <i>Body Number 23</i> .....	47
Gambar 3.15	Tampilan Tumpuan <i>Roll_X</i> .....	48
Gambar 3.16	Tampilan Tumpuan <i>Roll_Z</i> .....	48
Gambar 3.17	Tampilan Hasil Pemasangan Tumpuan pada <i>Point</i> .....	49
Gambar 3.18	Tampilan Hasil Pemasangan Tumpuan pada <i>Edges</i> .....	49
Gambar 3.19	Tampilan <i>Material</i> .....	50
Gambar 3.20	Tampilan <i>Define Isotropic</i> .....	50
Gambar 3.21	<i>Input Beban 100000 N</i> .....	50

Gambar 3.22	<i>Input</i> Beban 200000 N.....	51
Gambar 3.23	<i>Input</i> Posisi Pembebanan.....	51
Gambar 3.24	<i>Input Merge</i> .....	52
Gambar 3.25	<i>Constraint</i> .....	52
Gambar 3.26	<i>Input Contact</i> .....	53
Gambar 3.27	<i>Input Contact Face</i> Baut .....	53
Gambar 3.28	<i>Input Contact Face</i> Lubang pada Pelat .....	54
Gambar 3.29	<i>Input Contact Face</i> Pelat.....	54
Gambar 3.30	<i>Input Contact Face</i> Body.....	55
Gambar 3.31	<i>Input Element Group</i> .....	55
Gambar 3.32	<i>Input Mesh Density</i> .....	56
Gambar 3.33	<i>Input Create Mesh</i> .....	56
Gambar 3.34	<i>Input Time Function</i> .....	57
Gambar 3.35	<i>Input Time Step</i> .....	57
Gambar 3.36	<i>Input Solution Process</i> .....	58
Gambar 3.37	<i>Input Miscellaneous Option</i> .....	58
Gambar 3.38	Tampilan Elemen yang Ditinjau.....	59
Gambar 3.39	Kurva Hubungan Beban vs Lendutan pada Titik Nodal 2 .....	59
Gambar 3.40	<i>Output displacement</i> pada Beban 100000 N .....	60
Gambar 3.41	Tampilan <i>Clip-Angle</i> Atas .....	60
Gambar 3.42	Tampilan <i>Clip-Angle</i> Bawah .....	61
Gambar 3.43	Tampilan <i>Clip-Angle</i> pada Sisi Kanan .....	62
Gambar 3.44	Tampilan <i>Clip-Angle</i> pada Sisi Kiri .....	63
Gambar 3.45	Tampilan <i>Slip Displacement</i> Hasil Eksperimental .....	65
Gambar 3.46	Skematik Tampak Samping Model Sambungan Balok-Kolom.....	66
Gambar 3.47	<i>Output</i> Tegangan Baut pada Beban 200000 N .....	66
Gambar 3.48	<i>Output</i> Tegangan Maksimum pada Beban 100000 N .....	67
Gambar L1.1	<i>Output</i> $M_u$ dan $V_u$ .....	71
Gambar L2.1	Tampilan <i>New Model</i> ADINA.....	74
Gambar L2.2	Tampilan <i>Input Point</i> ADINA.....	74
Gambar L2.3	Tampilan <i>Input Titik</i> ADINA.....	75
Gambar L2.4	Tampilan <i>Input Garis</i> .....	75
Gambar L2.5	Tampilan <i>Input Tumpuan</i> .....	75
Gambar L2.6	Tampilan <i>Input Beban</i> .....	76
Gambar L2.7	Tampilan <i>Input Point</i> Pembebanan .....	76
Gambar L2.8	Tampilan Penampang .....	76
Gambar L2.9	Tampilan <i>Input Material</i> .....	77
Gambar L2.10	Tampilan <i>Input Young Modulus</i> .....	77
Gambar L2.11	Tampilan <i>Input Element Group</i> .....	77
Gambar L2.12	Tampilan <i>Input Mesh Density</i> .....	78
Gambar L2.13	Tampilan <i>Input Mesh Lines</i> .....	78
Gambar L2.14	Tampilan Pemodelan .....	78
Gambar L2.15	Tampilan <i>Input Momen Reaction</i> .....	79
Gambar L2.16	Tampilan <i>Input Hasil Momen</i> .....	79
Gambar L2.17	Tampilan <i>Input Reaction</i> .....	80
Gambar L2.18	Tampilan <i>Input Hasil Reaction</i> .....	80
Gambar L2.19	Tampilan Balok dengan Beban Merata .....	80
Gambar L2.20	Tampilan Reaksi pada Balok .....	81

Gambar L2.21 Tampilan Hasil Lendutan pada Balok .....	82
Gambar L3.1 Tampilan Profil IWF .....	83
Gambar L3.2 Tampilan Reaksi Balok serta Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur.....	84
Gambar L3.3 Tampilan Reaksi pada Balok dengan Perletakan Jepit - Jepit ...	86
Gambar L3.4 Tampilan Balok dengan Perletakan Jepit -Jepit.....	88
Gambar L4.1 Portal Perletakan Jepit - Jepit.....	89
Gambar L4.2 Struktur DOF .....	90
Gambar L4.3 Reaksi Perletakan Etabs.....	97

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Mekanis Baja [SNI 03-1729-2002].....	9
Tabel 2.2	Tipe – tipe Baut [SNI 03-1729-2002] .....	25
Tabel 3.1	Koordinat <i>Body</i> Kolom.....	44
Tabel 3.2	Koordinat <i>Body</i> Balok .....	45
Tabel 3.3	Koordinat <i>Body</i> Pelat.....	46
Tabel 3.4	Koordinat <i>Body</i> Baut .....	47
Tabel 3.5	Hasil Bacaan <i>Slip</i> ( satuan mm ) pada Pelat Bagian Atas Untuk Beban 100000 N.....	61
Tabel 3.6	Hasil Bacaan <i>Slip</i> ( satuan mm ) pada Pelat Bagian Atas Untuk Beban 200000 N .....	61
Tabel 3.7	Hasil Bacaan <i>Slip</i> ( satuan mm ) pada Pelat Bagian Bawah Untuk Beban 100000 N.....	62
Tabel 3.8	Hasil Bacaan <i>Slip</i> ( satuan mm ) pada Pelat Bagian Bawah Untuk Beban 200000 N.....	62
Tabel 3.9	Hasil Bacaan <i>Slip</i> ( satuan mm ) pada Pelat Bagian Sisi Kanan Untuk Beban 100000 N.....	63
Tabel 3.10	Hasil Bacaan <i>Slip</i> ( satuan mm ) pada Pelat Bagian Sisi Kanan Untuk Beban 100000 N.....	63
Tabel 3.11	Hasil Bacaan <i>Slip</i> ( satuan mm ) pada Pelat Bagian Sisi Kiri Untuk Beban 100000 N.....	64
Tabel 3.12	Hasil Bacaan <i>Slip</i> ( satuan mm ) pada Pelat Bagian Sisi Kiri Untuk Beban 200000 N.....	64
Tabel 3.13	Hasil Simulasi ADINA dengan Hasil Eksperimental [Jong-Wan Hu <sup>1</sup> , Roberto T. Leon <sup>2</sup> , and Eunsoo Choi <sup>3</sup> ] Untuk Beban 100000 N.....	64
Tabel 3.14	Hasil Simulasi ADINA dengan Hasil Eksperimental [Jong-Wan Hu <sup>1</sup> , Roberto T. Leon <sup>2</sup> , and Eunsoo Choi <sup>3</sup> ] Untuk Beban 200000 N.....	65



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	Luas penampang profil melintang, mm <sup>2</sup>
A <sub>g</sub>	Luas penampang bruto, mm <sup>2</sup>
A <sub>n</sub>	Luas penampang netto, mm <sup>2</sup>
b	Lebar profil penampang I, mm
b <sub>f</sub>	Tebal sayap penampang I, mm
C <sub>b</sub>	Faktor untuk menghitung gradien momen kekuatan balok
C <sub>r</sub>	<i>Corner radius</i>
C <sub>x</sub>	Jarak antara ujung sayap ke titik berat
d	Tinggi profil penampang I, mm
d <sub>b</sub>	Diameter baut nominal pada daerah tak berulir, mm
E	Modulus elastisitas baja, Mpa
f <sub>u</sub>	Tegangan putus minimum, MPa
f <sub>y</sub>	Tegangan leleh minimum, MPa
f <sub>cr</sub>	Tegangan tekan kritis, MPa
f <sub>u</sub> <sup>b</sup>	Tegangan tarik putus baut, Mpa
f <sub>r</sub>	Tegangan sisa
G	Modulus geser baja
h <sub>c</sub>	Tinggi bagian badan WF yang lurus
I <sub>x</sub>	Momen inersia sumbu-x, mm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	Momen inersia sumbu-y, mm <sup>4</sup>
I <sub>w</sub>	konstanta lengkung puntir
J	Konstanta puntir torsi, mm <sup>4</sup>
k <sub>c</sub>	Faktor panjang tekuk
L	Panjang bentang, mm
L <sub>b</sub>	jarak antara penampang lateral, mm
L <sub>p</sub>	Panjang Momen ujung terkecil, N-mm
L <sub>k</sub>	Panjang efektif batang tekan
M <sub>nx</sub>	Momen lentur nominal penampang komponen struktur terhadap sumbu x

$M_{ny}$	Momen lentur nominal penampang komponen struktur terhadap sumbu y
$m$	Jumlah bidang geser
$M_p$	Momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh, N-mm
$M_n$	Kuat lentur nominal
$M_u$	Momen akibat beban terfaktor.
$M_r$	Momen batas tekuk
$n$	Jumlah baut
$P_u$	Beban aksial terfaktor, N
$R_d$	Kuat rencana, N
$R_n$	Kuat nominal, N
$R_u$	Beban terfaktor atau kuat perlu, N
$r_y$	Jari-jari girasi terhadap sumbu lemah, mm
$r_x$	Jari-jari girasi terhadap sumbu kuat, mm
$R_{ut}$	Beban tarik terfaktor pada baut
$R_{uv}$	Beban geser terfaktor pada baut
$S$	Modulus penampang ( Momen perlawanan elastis )
$S_x$	Modulus elastis penampang pada sumbu-x, mm <sup>3</sup>
$S_y$	Modulus elastis penampang pada sumbu-y, mm <sup>3</sup>
$T_d$	Kuat tarik rencana, N
$t_w$	Tebal badan penampang I, mm
$t_f$	Tebal sayap penampang I, mm
$V_d$	Kuat geser rencana baut penampang primer, mm
$V_n$	Kuat geser nominal baut, N
$V_u$	Kuat geser perlu
$Z_x$	Modulus plastis sumbu-x.
$\mu$	Rasio Poisson
$\alpha$	Koefisien Pemuaian
$\Phi_b$	Faktor ketahanan lentur 0,9.
$\lambda_c$	Parameter Kelangsingan
$\lambda_p$	Batas perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang kompak
$\lambda_r$	Batas maksimum untuk penampang tak kompak

- $\Phi$  Faktor reduksi
- $\Phi b$  Faktor reduksi kuat lentur
- $\Phi R_n$  Kuat rencana
- $\phi R_{nt}$  Tahanan rencana pada baut dalam tarik
- $\phi R_{nv}$  Tahanan rencana pada baut dalam geser

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Perencanaan Sambungan Kolom-Balok .....	70
Lampiran 1.2 Analisis Lendutan pada Balok.....	74
Lampiran 1.3 Penurunan Rumus .....	83
Lampiran 1.4 Verifikasi Software .....	89