

**STUDI PRAKUALIFIKASI SAMBUNGAN
PELAT-UJUNG BALOK BAJA WF
MENGUNAKAN HAUNS DENGAN KOLOM WF**

TESIS



Oleh:

Sonatha Christianto
2016831041

Pembimbing :

Dr. Djoni Simanta

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL – TEKNIK STRUKTUR
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

BANDUNG

AGUSTUS 2020

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI PRAKUALIFIKASI SAMBUNGAN
PELAT-UJUNG BALOK BAJA WF
MENGUNAKAN HAUNS DENGAN KOLOM WF**

TESIS



Oleh:

Sonatha Christianto

2016831042

Pembimbing :

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Djoni Simanta", is written over a horizontal line.

Dr. Djoni Simanta

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL – TEKNIK STRUKTUR
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

BANDUNG

AGUSTUS 2020

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Sonatha Christianto

NPM : 2016831041

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Sekolah Pascasarjana

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

Studi Prakuualifikasi Sambungan Pelat-Ujung

Balok Baja WF Menggunakan Hauns dengan Kolom WF

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 19 Agustus 2020



Sonatha Christianto

STUDI PRAKUALIFIKASI SAMBUNGAN PELAT-UJUNG BALOK BAJA WF MENGUNAKAN HAUNS DENGAN KOLOM WF

Sonatha Christianto (NPM : 2016831041)

Pembimbing : Dr. Djoni Simanta

Program Magister Teknik Sipil

Sekolah Pascasarjana

Universitas Katolik Parahyangan

Bandung

Agustus 2020

ABSTRAK

Penggunaan sambungan pelat-ujung diinisiasi banyak kegagalan sambungan las seluruhnya. Di Indonesia sambungan balok kolom pelat-ujung dengan hauns banyak digunakan pada daerah ketinggian tinggi. Namun sambungan ini belum terprakualifikasi seismik. Pengujian prakualifikasi sambungan dapat dilakukan dengan analisis elemen hingga terkalibrasi. Perhitungan kapasitas sambungan pelat-ujung dengan hauns mengacu kepada penelitian yang mendasari AISC Design Guide. Konfigurasi sambungan yang diusulkan adalah MRS 2/1, MRS 2/2, dan MRS 3/1. Ajuan desain dan konfigurasi sambungan menggunakan material yang umum di Indonesia. Konfigurasi pengaku pelat-ujung menggunakan bentuk pengaku diagonal, yang menghubungkan flens balok dengan pelat-ujung. Sambungan dengan pengaku diagonal memiliki pola garis-leleh tegangan von mises yang mirip dengan pola pada AISC Design Guide. Dari hasil analisis, ketiga konfigurasi sambungan memiliki selisih antara momen positif dan negatif hingga -7.09%. Ketiga konfigurasi sambungan mampu mengembangkan kapasitas momen balok berkisar antara 110.3% s.d. 152.5% dari M_{pr} balok. Sambungan MRS 2/1, MRS 2/2, dan MRS 3/1 lolos syarat prakualifikasi dengan kekuatan diatas $0.80 M_{pr}$ pada rotasi 0.04 rad.

Kata Kunci : Garis-leleh, Pelat-ujung, Analisis Elemen Hingga, Hauns

PREQUALIFIED STUDY OF END-PLATE CONNECTION OF STEEL I-SHAPED BEAM WITH HAUNCH AND I-SHAPED COLUMN

Sonatha Christianto (NPM : 2016831041)

Advisor : Dr. Djoni Simanta

Master of Civil Engineering Program

Parahyangan Catholic University

Bandung

August 2020

ABSTRACT

End-plate moment connection usage initiated by the failure of fully welded connection. In Indonesia end-plate with haunch beam-to-column connections are often used at highly seismic areas. However this connection has not yet been seismically prequalified. Connections prequalification test can be conducted using calibrated finite element analysis. Calculation capacities of end-plate connections with haunch are referred to research, which is taken as base of AISC Design Guide. Proposed connection configurations are MRS 2/1, MRS 2/2, and MRS 3/1. Proposed design and connection configuration use common material in Indonesia. End-plate stiffener configuration use diagonal stiffener, which connect beam flange and end-plate. Connections with diagonal stiffener have yield-line Von Mises pattern similar to AISC Design Guide's. These 3 connection configurations have positive and negative moment differences up to -7.09%. These connection configurations can develop beam moment capacity between 110.3% up to 152.5% beam M_{pr} . MRS 2/1, MRS 2/2, and MRS 3/1 connections are prequalified, which have flexural resistance higher than $0.80 M_{pr}$ at 0.04 rad.

Keyword : Yield-line, End-Plate, Finite Element Analysis, Haunch

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas rahmat yang berlimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **STUDI PRAKUALIFIKASI SAMBUNGAN PELAT-UJUNG BALOK BAJA WF MENGGUNAKAN HAUNS DENGAN KOLOM WF**. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi magister di Fakultas Pasca Sarjana Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis mendapatkan banyak saran, kritikan, nasihat, serta dorongan semangat dari banyak pihak, sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini, izinkanlah penulis untuk menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Djoni Simanta selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan masukan serta wawasan kepada penulis dalam penulisan tesis ini.
2. Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D. dan Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen penguji, yang telah memberikan masukan-masukan berarti dalam penyelesaian tesis ini.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Sipil Unpar yang telah membagikan ilmunya kepada penulis selama menjalani masa studi.
4. Papi, Mami, Vina, dan Nia yang selalu memanjatkan doa, dorongan semangat, dan pengertian selama masa sulit dalam proses studi dan sembari bekerja.
5. Alvianti yang tiada henti setia memberikan waktu, dukungan moril, bantuan, peminjaman komputer dan semangat selama proses penulisan.

6. Jeremy dan Stefanus yang membantu dan memberikan solusi setiap permasalahan dalam proses penulisan.
7. Ibu Grace selaku direktur PT. Konsultan Prama Cipta yang memberikan waktu kepada penulis untuk menyusun tesis ini.
8. Serta seluruh pihak lain yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini sehingga dapat diselesaikan yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan mengingat terbatasnya waktu, kemampuan, dan ilmu yang dimiliki. Penulis akan dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap laporan tesis ini dapat berguna bagi pihak-pihak yang membutuhkan.



Bandung, Agustus 2020

Sonatha Christianto

NPM 2016831041

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	
ABSTRACT	
PRAKATA	
DAFTAR ISI	i
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Inti Permasalahan	3
1.3. Tujuan Penulisan	4
1.4. Pembatasan masalah	4
1.5. Metode Penulisan	6
1.6. Sistematika penulisan	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Uji Eksperimental oleh Gang Shi dari Makalah <i>Behaviour of End-Plate Moment Connections Unders Earthquake Loading</i>	11

2.2.	Sambungan Pelat Ujung ' <i>End-Plate Connections</i> '	11
2.2.1.	Pelat Ujung Sama Tinggi ' <i>Flush End-Plate</i> '	13
2.2.2.	Pelat Ujung Diperpanjang ' <i>Extended End-Plate</i> '	13
2.2.3.	<i>AISC Design Guide 4 Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications</i>	14
2.2.4.	<i>AISC Design Guide 16 Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connection</i>	15
2.2.5.	Kekakuan Sambungan Pelat Ujung	15
2.3.	Yield-Line Theorem ' <i>Teori Garis Leleh</i> '	17
2.4.	Rangka Momen Khusus	20
2.5.	Prasyarat Sambungan Balok ke Kolom untuk Rangka Momen Khusus Berdasarkan AISC 341-16	20
2.5.1.	Rasio Momen	21
2.5.2.	Member	23
2.5.3.	Sambungan	23
2.5.4.	Kekuatan Geser Sambungan	24
2.5.5.	Kekuatan Geser <i>Panel Zone</i>	25
2.5.6.	<i>Doubler Plates</i> ' <i>Pelat Pengganda</i> '	25
2.5.7.	<i>Continuity Plates</i> ' <i>Pelat Penerus</i> '	26

2.6.	<i>AISC 358-16 Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications</i>	28
2.6.1.	<i>Reduced Beam Section Moment Connection</i> ‘Sambungan Momen Penampang Balok Tereduksi’	28
2.6.2.	<i>Bolted Unstiffened and Stiffened Extended End-Plate Moment Connections</i> ‘Sambungan Momen Pelat Ujung Berbaut Diperpanjang Tanpa dan Dengan Pengaku’	29
2.6.3.	<i>Bolted Flange Plate Moment Connection</i> ‘Sambungan Momen Pelat Sayap Berbaut’	29
2.6.4.	<i>Welded Unreinforced Flange-Welded Web Moment Connection</i> ‘Sambungan Momen Sayap tanpa Penguat Dilas – Badan Dilas’	30
2.6.5.	<i>Kaiser Bolted Bracket Moment Connection</i> ‘Sambungan Momen Bracket Berbaut Kaiser’	30
2.6.6.	<i>ConXtech ConXL Moment Connection</i> ‘Sambungan Momen ConXtech ConXL’	31
2.6.7.	<i>Sideplate Moment Connection</i> ‘Sambungan Momen Sideplate’	32
2.6.8.	<i>Simpson Strong-Tie Strong Frame Moment Connection</i> ‘Sambungan Momen Simpson Strong-Tie Strong Frame’	32
2.6.9.	<i>Double-Tee Moment Connection</i> ‘Sambungan Momen Double T’	33
2.7.	Pengujian Siklik untuk Kualifikasi Sambungan Balok ke Kolom Berdasarkan AISC 341 – Bagian K2	34

2.7.1.	Ukuran Komponen Struktur	34
2.7.2.	Detail Sambungan	34
2.7.3.	Riwayat Pembebanan	34
2.7.4.	Kriteria penerimaan	35
2.8.	Disipasi Energi dan <i>Equivalent Viscous Damping</i>	35
2.8.1.	Energi Disipasi	35
2.8.2.	<i>Equivalent Viscous Damping Ratio</i> “Rasio Redaman Viscous Setimbang”	35
BAB 3 VERIFIKASI DAN KALIBRASI <i>FINITE ELEMENT MODEL</i>		37
3.1.	<i>Finite Element Analysis</i> dengan ANSYS Workbench	37
3.2.	Data Material Berdasarkan Shi dkk.	37
3.3.	Model Material Baja – <i>Kinematic Hardening</i>	38
3.4.	Data Geometri Sambungan JD3 Shi dkk	40
3.5.	Model Geometri	41
3.6.	Model Elemen Kontak	43
3.6.1.	Tipe Kontak	44
3.6.2.	Perilaku Kontak	45
3.6.3.	Formulasi Kontak	48
3.6.4.	<i>Small Sliding</i>	51

3.6.5.	Kontak antara <i>End-Plate</i> dengan Flens Kolom	52
3.6.6.	Kontak antara Baut dengan Lubang	53
3.6.7.	Kontak antara Kepala Baut dengan Pelat	54
3.6.8.	Ringkasan Model Elemen Kontak	55
3.7.	Model Kondisi Batas dan Pembebanan	55
3.7.1.	Model Tumpuan	56
3.7.2.	Model Gaya Pratarik Baut	57
3.7.3.	Model Beban Aksial Kolom dan Beban Siklik	58
3.8.	<i>Mesh</i>	60
3.8.1.	Model Element	60
3.8.2.	Jumlah Nodal dan Elemen	61
3.8.3.	<i>Mesh</i> Keseluruhan Sistem	61
3.8.4.	<i>Mesh</i> Ketebalan Pelat	62
3.8.5.	<i>Mesh</i> Baut	63
3.8.6.	<i>Mesh End-plate</i>	63
3.8.7.	<i>Mesh</i> Balok dan Kolom	64
3.8.8.	Ringkasan <i>Mesh</i> Model	65
3.9.	Kontrol Solusi	66
3.9.1.	<i>Direct Solver</i>	66

3.9.2. <i>Large Deflection</i>	69
3.10. Kurva Histeresis Hasil Uji Eksperimen	70
3.11. Kalibrasi Model Uji Numerik	71
3.11.1 Kalibrasi Model Aktuator	71
3.11.2 Kalibrasi Kontak Kepala Baut dengan Pelat-ujung	72
3.11.3 Alasan Penggunaan <i>Bonded</i> antara Kepala Baut dengan Pelat	75
BAB 4 PERHITUNGAN KAPASITAS SAMBUNGAN PELAT-UJUNG DENGAN HAUNS	77
4.1. Studi Literatur dan Analisis Sambungan Pelat-Ujung	77
4.2. <i>AISC Design Guide 4 Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications</i>	77
4.2.1. Kondisi dan Asumsi <i>AISC Design Guide 4</i>	78
4.2.2. Teori dan Mekanika <i>AISC Design Guide 4</i>	80
4.3. <i>AISC Design Guide 16 Flush and Extended Multiple-Row Moment End- Plate Connection</i>	81
4.3.1. Kondisi dan Asumsi <i>AISC Design Guide 16</i>	82
4.3.2. Teori dan Mekanika <i>AISC Design Guide 16</i>	84
4.4. Ajuan Desain Sambungan Balok dengan Hauns	85
4.5. Sambungan <i>Multiple Rows Stiffened MRS 2/1</i>	87
4.5.1. Perhitungan Garis-Leleh Sambungan <i>MRS 2/1</i>	87

4.5.2.	Perhitungan Gaya Baut Sambungan MRS 2/1	92
4.6.	Sambungan <i>Multiple Rows Stiffened</i> MRS 2/2	92
4.6.1.	Perhitungan Garis-Leleh Sambungan MRS 2/2	92
4.6.2.	Perhitungan Gaya Baut Sambungan MRS 2/2	97
4.7.	Sambungan <i>Multiple Rows Stiffened</i> MRS 3/1	98
4.7.1.	Perhitungan Garis-Leleh Sambungan MRS 3/1	98
4.7.2.	Perhitungan Gaya Baut Sambungan MRS 3/1	103
4.8.	Ringkasan Kapasitas Sambungan	104
BAB 5 ANALISIS ELEMEN HINGGA SAMBUNGAN PELAT-UJUNG DENGAN HAUNS		107
5.1	Matriks Tes Penelitian	107
5.1.1.	Matriks Tes Sambungan	107
5.1.2.	Variasi Model Sambungan Pelat-Ujung dengan Hauns	107
5.1.3.	Validasi Pola Garis-Leleh	109
5.2	Matriks Tes Menentukan Konfigurasi Pengaku	109
5.2.1.	Model Matriks Tes Pengaku Pelat-Ujung	109
5.2.2.	Histeresis Variasi Pengaku Pelat-Ujung	111
5.2.3.	Validasi Kapasitas Variasi Pengaku Pelat-Ujung	115
5.2.4.	Validasi Pola Garis Leleh Variasi Pengaku	118

5.3	Matriks Tes Sambungan	123
5.4	Matriks Tes Konfigurasi MRS 2/1	125
5.4.1.	Validasi Perhitungan Kapasitas MRS 2/1	126
5.4.2.	Kurva Histeresis MRS 2/1	129
5.4.3.	Perbandingan Kurva Histeresis MRS 2/1	134
5.4.4.	Validasi Pola Garis Leleh MRS 2/1	137
5.5	Matriks Tes Konfigurasi MRS 2/2	144
5.5.1.	Validasi Perhitungan Kapasitas Sambungan MRS 2/2	145
5.5.2.	Kurva Histeresis MRS 2/2	147
5.5.3.	Perbandingan Kurva Histeresis MRS 2/2	150
5.5.4.	Validasi Pola Garis Leleh MRS 2/2	153
5.6	Matriks Tes Konfigurasi MRS 3/1	158
5.6.1.	Validasi Perhitungan Kapasitas Sambungan MRS 3/1	159
5.6.2.	Kurva Histeresis MRS 3/1	161
5.6.3.	Perbandingan Kurva Histeresis MRS 3/1	164
5.6.4.	Validasi Pola Garis Leleh MRS 3/1	167
5.7	Perbandingan Kapasitas Antar Konfigurasi	172
5.7.1.	Perbandingan Kapasitas Sambungan	173
5.7.2.	Perbandingan Kurva Histeresis Sambungan	175

BAB 6 AJUAN DESAIN SAMBUNGAN PELAT-UJUNG BALOK DENGAN HAUNS TERPRAKUALIFIKASI	179
6.1. Pengujian Sambungan Pelat-ujung Dengan Hauns	179
6.2. Limitasi Desain	183
6.2.1. Limitasi <i>Gage</i> ‘Jarak Antar Kolom Baut’	183
6.2.2. Limitasi <i>Pitch</i> dan Jarak Baris	183
6.2.3. Limitasi Hauns	183
6.2.4. Limitasi Pengaku Pelat-Ujung	184
6.2.5. Limitasi Rincian Pengelasan	184
6.3. Prosedur Desain	186
6.3.1. Desain Pelat-Ujung dan Baut	186
6.3.2. Desain Sisi Kolom	192
BAB 7 PENUTUP	197
7.1. Simpulan	197
7.1.1. Simpulan Kalibrasi Model	197
7.1.2. Simpulan Analisis Elemen Hingga	198
7.2. Saran	200
Daftar Pustaka	203
LAMPIRAN	207

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN KAPASITAS SAMBUNGAN ANALISIS

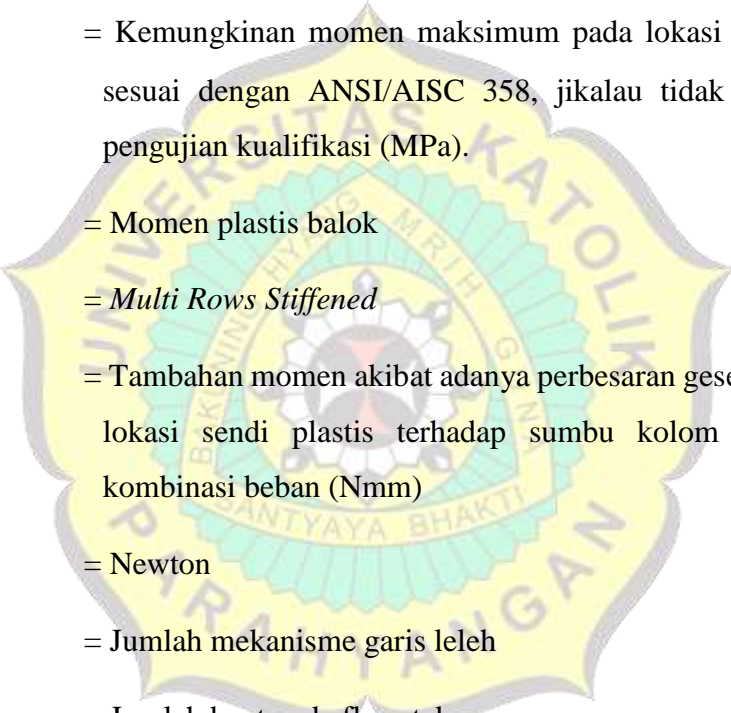
ELEMEN HINGGA	209
Tabel : MRS 2/1 - Geometri Sambungan	210
Tabel : MRS 2/1 - Parameter Geometri Sambungan	211
Tabel : MRS 2/1 - Perbandingan Kapasitas Sambungan	212
Tabel : MRS 2/2 & MRS 3/1 - Geometri Sambungan	213
Tabel : MRS 2/2 & MRS 3/1 - Parameter Geometri Sambungan	214
Tabel : MRS 2/2 & MRS 3/1 - Perbandingan Kapasitas Sambungan	215
LAMPIRAN 2 CONTOH PERHITUNGAN PRAKUALIFIKASI	
SAMBUNGAN MRS 2/1	217
LAMPIRAN 3 CONTOH PERHITUNGAN PRAKUALIFIKASI	
SAMBUNGAN MRS 2/2	218
LAMPIRAN 4 CONTOH PERHITUNGAN PRAKUALIFIKASI	
SAMBUNGAN MRS 3/1	219

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_b	= Luas bruto nominal (mm^2)
A_g	= Luas bruto kolom (mm^2)
A_{hyst}	= Luas kurva histeresis satu siklus
AISC	= American Institute of Steel Construction
ANSI	= American National Standards Institute
ANSYS	= <i>Analysis System</i>
APDL	= ANSYS <i>Parametric Design Language</i>
ASTM	= <i>American Society of Testing and Materials</i>
b_f	= Lebar flens balok
BISO	= <i>Bilinear Isotropic Hardening</i>
BKIN	= <i>Bilinear Kinematic Hardening</i>
b_p	= Lebar pelat-ujung
b_{sp}	= Lebar pengaku pelat-ujung (mm)
C_{pr}	= Faktor untuk memperhitungkan kekuatan puncak sambungan, termasuk dengan <i>strain hardening</i> , <i>local restraint</i> , tambahan tulangan, dan kondisi sambungan lainnya. Nilai C_{pr} , dapat sebesar
d	= Tinggi balok (mm)
d^*	= Jarak antar centroid flens balok (mm)
d_b	= Diameter baut (mm)
d_c	= Tinggi kolom (mm)
dkk	= dan kawan-kawan

dll	= dan lain-lain
DS	= <i>Diagonal Stiffener</i>
dsb	= dan sebagainya
E	= Modulus elastisitas material (MPa)
ED	=
E_{Diss}	= Energi disipasi satu siklus (kN m)
E_{sto}	= Energi tersimpan satu siklus (kN m)
E_T	= Modulus tangensial pada perumusan BKIN (MPa)
EVDR	= <i>Equivalent Viscous Damping Ratio</i>
F_{fu}	= Gaya desain pelat penerus kolom (N)
F_{max}	= Gaya maksimum aktuator terukur (N)
F_{min}	= Gaya minimum aktuator terukur (N)
F_{nt}	= Kekuatan tarik nominal baut dari <i>AISC Specification</i> (MPa)
F_{nv}	= Kekuatan geser nominal baut dari <i>AISC Specification</i> (MPa)
F_o	= Beban maksimum siklus (kN)
F_{py}	= Tegangan leleh material pelat-ujung (MPa)
F_u	= Tegangan tarik minimum elemen (MPa)
F_y	= Tegangan leleh minimum elemen (MPa)
F_{yb}	= Tegangan leleh minimum balok (MPa)
F_{yc}	= Tegangan leleh minimum kolom (MPa)
F_{yh}	= Tegangan leleh minimum hauns (MPa)
g	= Jarak horizontal antar baut (mm)
h_0	= Jarak titik pusat flens tekan ke pusat baris baut tarik ke-0 (mm)

h_1	= Jarak titik pusat flens tekan ke pusat baris baut tarik ke-1 (mm)
h_2	= Jarak titik pusat flens tekan ke pusat baris baut tarik ke-2 (mm)
h_3	= Jarak titik pusat flens tekan ke pusat baris baut tarik ke-3 (mm)
h_i	= Jarak titik pusat flens tekan ke pusat baris baut tarik ke-i (mm)
HS	= <i>Horizontal Stiffener</i>
h_{sp}	= Panjang pengaku pelat-ujung (mm)
h_{st}	= Tinggi hauns (mm)
I	= Inersia penampang balok
k_c	= Jarak dari flens kolom terluar ke <i>fillet web toe</i> atau las sudut (mm)
kN	= Kilonewton
L	= Bentang sederhana balok
L_c	= Jarak bersih, dari arah gaya diantara tepi lubang dan tepi terdekat atau ujung material (mm)
L_h	= Jarak antar lokasi sendi plastis (mm)
L_n	= Panjang garis leleh garis n
L_{st}	= Panjang hauns (mm)
M	= Momen ujung garis balok
M_{cf}	= Kapasitas lentur pelat flens kolom (kN m)
M_F	= Fixed end-momen, $(\frac{1}{12} wL^2)$
M_f	= Tambahan momen akibat adanya perbesaran geser balok pada lokasi sendi plastis terhadap sumbu kolom berdasarkan kombinasi beban (Nmm)
mm	= Milimeter



M_{\max}	= Momen maksimum aktuator terukur (N)
M_{\min}	= Momen minimum aktuator terukur (N)
M_{nb}	= Klentur runtuh baut (kN m)
M_{np}	= Halaman 176 word
m_p	= Momen plastis pelat per panjang
MPa	= Megapascal
M_{pl}	= Kapasitas lentur pelat-ujung (kN m)
M_{pr}	= Kemungkinan momen maksimum pada lokasi sendi plastis sesuai dengan ANSI/AISC 358, jikalau tidak berdasarkan pengujian kualifikasi (MPa).
M_{prb}	= Momen plastis balok
MRS	= <i>Multi Rows Stiffened</i>
M_v	= Tambahan momen akibat adanya perbesaran geser balok pada lokasi sendi plastis terhadap sumbu kolom berdasarkan kombinasi beban (Nmm)
N	= Newton
n	= Jumlah mekanisme garis leleh
n_b	= Jumlah baut pada flens tekan
n_i	= Jumlah baut dalam
n_o	= Jumlah baut luar
Nmm	= Newton Milimeter
p_b	= Jarak antar baut (mm)
P_n	= Gaya aksial kolom (N)
P_r	= Kekuatan aksial tekan yang dibutuhkan (N)

P_t	= Gaya pratarik baut (kN)
P_f	= Kebutuhan kekuatan pada muka kolom untuk batas lokal (N)
p_{fi}	= Jarak baut ke sisi pelat terdekat (mm)
RCSC	= <i>Research Council on Structural Connections</i>
RMK	= Rangka Momen Khusus
r_{ni}	= $1.2L_c t F_u < 2.4d_b t F_u$ dari baut dalam (N)
r_{no}	= $1.2L_c t F_u < 2.4d_b t F_u$ dari baut luar (N)
R_y	= Rasio tegangan leleh diharapkan dibandingkan tegangan leleh minimum, F_y , berdasarkan AISC <i>Seismic Provisions</i>
S_h	= Jarak dari muka kolom ke sendi plastis (mm)
SNI	= Standart Nasional Indonesia
$\sum M_{pb}^*$	= Jumlah dari kekuatan lentur yang diharapkan dari balok pada lokasi sendi plastis terhadap sumbu kolom pada sumbu balok (Nmm).
$\sum M_{pc}^*$	= Jumlah dari kekuatan lentur nominal kolom, di atas dan bawah join pada sumbu balok dengan reduksi aksial kolom (Nmm)
t	= Tebal dari web kolom atau masing-masing pelat pengganda (mm)
t_{cf}	= Tebal flens kolom (mm)
t_{fb}	= Ketebalan flens balok (mm)
t_{hf}	= Tebal hauns flens (mm)
t_{hw}	= Tebal hauns web (mm)
t_p	= Tebal pelat-ujung (mm)

t_{wc}	= Tebal web kolom (mm)
u_o	= Lendutan maksimum siklus (m)
V_{grav}	= Gaya geser balok dari $1.2D + f_1L + 0.2S$ (dengan f_1 adalah faktor beban yang ditentukan berdasarkan peraturan bangunan yang berlaku untuk beban hidup, tetapi tidak kurang 0.5) (N)
V_u	= Gaya geser pada ujung balok (N)
w	= Ukuran kaki dari las tumpul atau las sudut perkuatan, jika digunakan (mm)
w_i	= Kerja dalam garis leleh tunggal ke-I (N mm)
W_i	= Kerja dalam seluruh mekanisme garis leleh I (N mm)
W_e	= Kerja luar (N mm)
w_z	= lebar dari <i>panel zone</i> diantara flens kolom (mm)
Y	= Parameter panjang garis leleh (mm)
Y_{cf}	= Parameter panjang garis leleh flens kolom (mm)
Z_c	= Modulus plastis penampang kolom pada sumbu lentur (mm^3)
Z_e	= Modulus plastis efektif penampang pada lokasi sendi plastis (mm^3)
Z_x	= Modulus plastis penampang pada lokasi sendi plastis (mm^3)
ξ_{eq}	= <i>Equivalent viscous damping ratio</i>
ψ_d	= Faktor koreksi perbedaan momen positif dan negatif
ΔM_{max}	= Perbandingan selisih antara momen maksimum terukur (N)
ΔM_{min}	= Perbandingan selisih antara momen minimum terukur (N)
δ_a	= Jarak peralihan virtual a
δ_b	= Jarak peralihan virtual b

δ_c	= Jarak peralihan virtual c
δ_d	= Jarak peralihan virtual d
σ_o	= Tegangan leleh yang dispesifikasikan pada perumusan BKIN
θ	= Rotasi ujung garis balok
θ_n	= Rotasi normal relatif dari garis n
θ_s	= Rotasi ujung balok bentang sederhana



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Penggunaan sambungan momen <i>end-plate</i> (Sumner, 2003).....	2
Gambar 1. 2 Pengaturan alat pengujian Shi Gang dkk.	5
Gambar 1. 3 Bentuk sambungan Shi Gang dkk.	5
Gambar 1. 4 Pembebanan siklik Shi Gang dkk.....	6
Gambar 1. 5 Diagram alir penelitian.....	7
Gambar 2.1 Sambungan pelat ujung sama tinggi ' <i>Flush End-Plate</i> ' (Sumner, 2003)	13
Gambar 2. 2 Sambungan pelat ujung diperpanjang ' <i>Extended End-Plate</i> ' (Sumner, 2003)	14
Gambar 2. 3 Konfigurasi sambungan pelat ujung: (a) 4 baut tanpa pengaku; (b) 4 baut diperkaku; 8 baut diperkaku (AISC Design Guide 4, 2003)	14
Gambar 2. 4 Kurva Momen-Rotasi.....	16
Gambar 2. 5 Sambungan Momen Penampang Balok Tereduksi	28
Gambar 2. 6 Sambungan Momen Pelat Sayap Berbaut'	29
Gambar 2. 7 Sambungan Momen Sayap tanpa Penguat Dilas – Badan Dilas	30
Gambar 2. 8 Sambungan Momen <i>Bracket</i> Berbaut Kaiser	31
Gambar 2. 9 Sambungan Momen ConXtech ConXL	31
Gambar 2. 10 Sambungan Momen <i>Sideplate</i>	32

Gambar 2. 11 Sambungan Momen <i>Simpson Strong-Tie Strong Frame</i>	33
Gambar 2. 12 Sambungan Momen Double T	33
Gambar 2. 13 Energi histeresis siklus (Blandon, 2004)	36
Gambar 3. 1 Skema kurva tegangan regangan <i>Bilinear Kinematic Hardening</i>	39
Gambar 3. 2 Contoh masukan <i>Bilinear Kinematic Hardening</i>	40
Gambar 3. 3 Detail sambungan JD3	41
Gambar 3. 4 Skema pengujian Shi dkk.	41
Gambar 3. 5 Model geometri sambungan JD3, (a) warna <i>body</i> , (b) warna material	42
Gambar 3. 6 Model <i>end-plate</i> sambungan JD3	43
Gambar 3. 7 Model kontak elemen (ANSYS, 2009).....	45
Gambar 3. 8 Penentuan permukaan <i>Contact</i> dan <i>Target</i> (ANSYS, 2009)	47
Gambar 3. 9 Contoh posisi pendeteksi poin integrasi (ANSYS, 2009)	47
Gambar 3. 10 Masukan kontak antar <i>end-plate</i> dengan flens kolom	52
Gambar 3. 11 Masukan kontak antar badan baut dengan lubang.....	54
Gambar 3. 12 Model kondisi batas pengujian	56
Gambar 3. 13 Model kondisi batas sambungan JD3	57
Gambar 3. 14 Masukan gaya pratarik baut.....	57
Gambar 3. 15 Model dengan gaya pratarik	58

Gambar 3. 16 Model pembebanan sambungan JD3.....	58
Gambar 3. 17 Protokol beban siklik eksperimental	59
Gambar 3. 18 Protokol beban siklik AISC	59
Gambar 3. 19 SOLID186 20-Node	60
Gambar 3. 20 <i>Mesh</i> model JD3.....	62
Gambar 3. 21 <i>Mesh</i> baut	63
Gambar 3. 22 <i>Mesh end-plate</i>	64
Gambar 3. 23 <i>Mesh</i> daerah kontak <i>end-plate</i> dan flens kolom.....	64
Gambar 3. 24 <i>Mesh</i> balok sambungan JD3.....	65
Gambar 3. 25 <i>Mesh</i> kolom sambungan JD3	65
Gambar 3. 26 <i>Mesh</i> kolom sambungan JD3	69
Gambar 3. 27 Arah gaya pada analisis <i>large deflection</i>	69
Gambar 3. 28 Kurva histeresis hasil uji eksperiment.....	71
Gambar 3. 29 (a) Desain awal actuator, (b) Hasil kalibrasi	72
Gambar 3. 30 Skema kontak baut (Wang, 2013).....	72
Gambar 3. 31 Masukan kontak kepala baut dengan pelat.....	73
Gambar 3. 32 <i>Superimposed</i> kurva histeresis (kiri) total dan (kanan) numerik....	75
Gambar 3. 33 Kurva histeresis (kiri) <i>bonded</i> dan (kanan) <i>frictional</i>	75

Gambar 4. 1 Konfigurasi sambungan pelat-ujung diperpanjang DG-4: (a) 4 baut tanpa pengaku; (b) 4 baut diperkaku; (c) 8 baut diperkaku	78
Gambar 4. 2 Konfigurasi sambungan pelat-ujung sama tinggi DG-16 (Murray dan Shoemaker, 2002).....	81
Gambar 4. 3 Konfigurasi sambungan pelat-ujung diperpanjang DG-16 (Murray dan Shoemaker, 2002).....	82
Gambar 4. 4 Ajuan desain pelat ujung	86
Gambar 4. 5 Ajuan konfigurasi <i>stiffener</i>	87
Gambar 4. 6 Mekanisme Garis-Leleh MRS 2/1	88
Gambar 4. 7 Mekanisme Garis-Leleh MRS 2/2.....	93
Gambar 4. 8 Mekanisme Garis-Leleh MRS 3/1	99
Gambar 5. 1 <i>Superimposed</i> kurva histeresis variasi pengaku	112
Gambar 5. 2 <i>Superimposed</i> energi disipasi variasi pengaku	112
Gambar 5. 3 Kurva histeresis (a) DS-1 (b) HS-1	114
Gambar 5. 4 Kurva histeresis (a) DS-2 (b) HS-2	114
Gambar 5. 5 Kurva histeresis (a) DS-3 (b) HS-3	114
Gambar 5. 6 Model sambungan MRS 2/1 : IWF400.....	125
Gambar 5. 7 Model sambungan MRS 2/1 : IWF500; IWF600	126
Gambar 5. 8 Kurva histeresis MRS 2/1 – IWF400 <i>superimposed</i>	130

Gambar 5. 9 Kurva histeresis MRS 2/1 – IWF400 (a) 20-M20; (b) 22-M22; (c) 24-M24	130
Gambar 5. 10 Kurva histeresis MRS 2/1 – IWF500 <i>superimposed</i>	132
Gambar 5. 11 Kurva histeresis MRS 2/1 – IWF500 (a) 20-M20; (b) 22-M22; (c) 24-M24.....	132
Gambar 5. 12 Kurva histeresis MRS 2/1 – IWF600 <i>superimposed</i>	134
Gambar 5. 13 Kurva histeresis MRS 2/1 – IWF600 (a) 20-M20; (b) 22-M22; (c) 24-M24.....	134
Gambar 5. 14 Energi disipasi model MRS 2/1 <i>superimposed</i>	135
Gambar 5. 15 Kekakuan model MRS 2/1 <i>superimposed</i>	136
Gambar 5. 16 Model sambungan MRS 2/2 : IWF500; IWF600.....	144
Gambar 5. 17 Kurva histeresis MRS 2/2 – IWF500 <i>superimposed</i>	148
Gambar 5. 18 Kurva histeresis MRS 2/2 – IWF500 (a) 20-M20; (b) 22-M22; (c) 24-M24.....	148
Gambar 5. 19 Kurva histeresis MRS 2/2 – IWF600 <i>superimposed</i>	150
Gambar 5. 20 Kurva histeresis MRS 2/2 – IWF600 (a) 20-M20; (b) 22-M22; (c) 24-M24.....	150
Gambar 5. 21 Energi disipasi model MRS 2/2 <i>superimposed</i>	151
Gambar 5. 22 Kekakuan model MRS 2/2 <i>superimposed</i>	152
Gambar 5. 23 Model sambungan MRS 2/2 : IWF500; IWF600.....	158

Gambar 5. 24 Kurva histeresis MRS 3/1 – IWF500 <i>superimposed</i>	162
Gambar 5. 25 Kurva histeresis MRS 3/1 – IWF500 (a) 20-M20; (b) 22-M22; (c) 24-M24	162
Gambar 5. 26 Kurva histeresis MRS 2/2 – IWF600 <i>superimposed</i>	164
Gambar 5. 27 Kurva histeresis MRS 2/2 – IWF600 (a) 20-M20; (b) 22-M22; (c) 24-M24	164
Gambar 5. 28 Energi disipasi model MRS 3/1 <i>superimposed</i>	165
Gambar 5. 29 Kekakuan model MRS 3/1 <i>superimposed</i>	166
Gambar 5. 30 Kurva histeresis 20-M20 semua sambungan (a) IWF600; (b) IWF500.....	176
Gambar 5. 31 Kurva histeresis 22-M22 semua sambungan (a) IWF600; (b) IWF500.....	176
Gambar 5. 32 Kurva histeresis 24-M24 semua sambungan (a) IWF600; (b) IWF500.....	177
Gambar 6. 1 Geometri sambungan <i>Multi Rows Stiffened</i> 2/1 (MRS 2/1)	180
Gambar 6. 2 Geometri sambungan <i>Multi Rows Stiffened</i> 2/2 (MRS 2/2)	181
Gambar 6. 3 Geometri sambungan <i>Multi Rows Stiffened</i> 3/1 (MRS 3/1)	182

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai R_y dan R_t untuk material baja dan tulangan	22
Tabel 3. 1 Data aktual material Shi dkk.....	38
Tabel 3. 2 Masukan <i>Bilinear Kinematic Hardening</i>	39
Tabel 3. 3 Kelebihan dan kekurangan perilaku kontak.....	48
Tabel 3. 4 Formulasi kontak.....	49
Tabel 3. 5 Kelebihan dan kekurangan jenis formulasi kontak.....	50
Tabel 3. 6 Pengaturan model elemen kontak	55
Tabel 3. 7 Pengaturan mesh	65
Tabel 3. 8 Perbandingan nodal dengan lama faktorisasi matriks.....	68
Tabel 3. 9 Tes matriks mutu baut dan model.....	74
Tabel 4. 1 Perhitungan Rotasi Panel MRS 2/1.....	89
Tabel 4. 2 Perhitungan Energi Tersimpan Panel MRS 2/1	90
Tabel 4. 3 Perhitungan Rotasi Panel MRS 2/2.....	94
Tabel 4. 4 Perhitungan Energi Tersimpan Panel MRS 2/2	95
Tabel 4. 5 Perhitungan Rotasi Panel MRS 3/1.....	100
Tabel 4. 6 Perhitungan Energi Tersimpan Panel MRS 3/1	101
Tabel 4. 7 Kapasitas Sambungan MRS 2/1.....	104

Tabel 4. 8 Kapasitas Sambungan MRS 2/2	105
Tabel 4. 9 Kapasitas Sambungan MRS 3/1	106
Tabel 5. 1 Model material analisis elemen hingga	108
Tabel 5. 2 Model geometri analisis elemen hingga	108
Tabel 5. 3 Desain konfigurasi pengaku pelat-ujung	110
Tabel 5. 4 Kapasitas sambungan model variasi pengaku	111
Tabel 5. 5 <i>Equivalent Viscous Damping Ratio</i> – Pengaku Diagonal	113
Tabel 5. 6 <i>Equivalent Viscous Damping Ratio</i> – Pengaku Horizontal	113
Tabel 5. 7 Data & Perhitungan kapasitas MRS 2/1 untuk variasi pengaku.....	116
Tabel 5. 8 Perbandingan M_{pl} dengan variasi pengaku	116
Tabel 5. 9 Pola garis leleh pelat-ujung – Pengaku Diagonal DS-n	119
Tabel 5. 10 Pola garis leleh flens kolom – Pengaku Diagonal DS-n	120
Tabel 5. 11 Pola garis leleh pelat-ujung – Pengaku Diagonal HS-n	121
Tabel 5. 12 Pola garis leleh flens kolom – Pengaku Diagonal HS-n	122
Tabel 5. 13 Matriks tes sambungan MRS 2/1	123
Tabel 5. 14 Matriks tes sambungan MRS 2/2	124
Tabel 5. 15 Matriks tes sambungan MRS 3/1	124
Tabel 5. 16 Matriks tes geometri analisis elemen hingga MRS 2/1	125
Tabel 5. 17 Properti matriks tes sambungan MRS 2/1	127

Tabel 5. 18 Kapasitas tes matriks sambungan MRS 2/1	127
Tabel 5. 19 Kapasitas sambungan analisis elemen hingga MRS 2/1	128
Tabel 5. 20 Validasi matriks tes sambungan MRS 2/1	128
Tabel 5. 21 EVDR dan Kekakuan model MRS 2/1	136
Tabel 5. 22 Pola garis leleh pelat-ujung – MRS 2/1 – IWF400.....	138
Tabel 5. 23 Pola garis leleh flens kolom – MRS 2/1 – IWF400	139
Tabel 5. 24 Pola garis leleh pelat-ujung – MRS 2/1 – IWF500.....	140
Tabel 5. 25 Pola garis leleh flens kolom – MRS 2/1 – IWF500	141
Tabel 5. 26 Pola garis leleh pelat-ujung – MRS 2/1 – IWF600.....	142
Tabel 5. 27 Pola garis leleh flens kolom – MRS 2/1 – IWF600	143
Tabel 5. 28 Matriks tes geometri analisis elemen hingga MRS 2/2.....	144
Tabel 5. 29 Model geometri analisis elemen hingga MRS 2/2.....	145
Tabel 5. 30 Kapasitas tes matriks sambungan MRS 2/2.....	146
Tabel 5. 31 Kapasitas sambungan analisis elemen hingga MRS 2/2.....	146
Tabel 5. 32 Validasi perhitungan MRS 2/2.....	146
Tabel 5. 33 EVDR dan Kekakuan model MRS 2/2	152
Tabel 5. 34 Pola garis leleh pelat-ujung – MRS 2/2 – IWF500.....	154
Tabel 5. 35 Pola garis leleh flens kolom – MRS 2/2 – IWF500	155
Tabel 5. 36 Pola garis leleh pelat-ujung – MRS 2/2 – IWF600.....	156

Tabel 5. 37 Pola garis leleh flens kolom – MRS 2/2 – IWF600.....	157
Tabel 5. 38 Matriks tes geometri analisis elemen hingga MRS 3/1	158
Tabel 5. 39 Model geometri analisis elemen hingga MRS 3/1	159
Tabel 5. 40 Kapasitas tes matriks sambungan MRS 3/1	160
Tabel 5. 41 Kapasitas sambungan analisis elemen hingga MRS 3/1	160
Tabel 5. 42 Validasi perhitungan MRS 3/1	160
Tabel 5. 43 EVDR dan Kekakuan model MRS 3/1.....	166
Tabel 5. 44 Pola garis leleh pelat-ujung – MRS 3/1 – IWF500	168
Tabel 5. 45 Pola garis leleh flens kolom – MRS 3/1 – IWF500.....	169
Tabel 5. 46 Pola garis leleh pelat-ujung – MRS 3/1 – IWF600	170
Tabel 5. 47 Pola garis leleh flens kolom – MRS 3/1 – IWF600.....	171
Tabel 5. 48 Matriks tes sambungan IWF500.....	172
Tabel 5. 49 Matriks tes sambungan IWF600.....	173
Tabel 5. 50 Perbandingan Kapasitas Sambungan - IWF500	174
Tabel 5. 51 Perbandingan Kapasitas Sambungan - IWF600	174
Tabel 6. 1 Parameter Garis leleh MRS 2/1	189
Tabel 6. 2 Parameter Garis leleh MRS 2/2.....	190
Tabel 6. 3 Parameter Garis leleh MRS 3/1	191

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

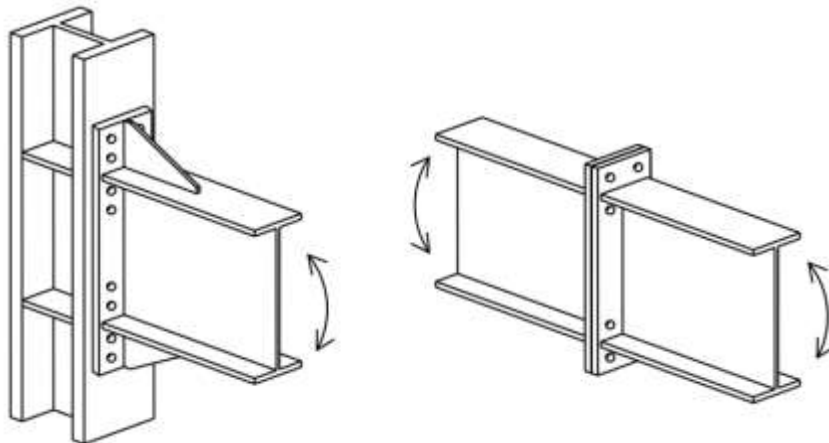
Sambungan merupakan bagian yang penting, karena pada sambungan terjadi transfer beban yang bekerja dari elemen yang disambung. Kemudian beban tersebut ditransferkan hingga ke pondasi. Oleh karena itu, sambungan haruslah dipastikan dapat memikul beban yang direncanakan, sehingga proses transfer beban dapat terjadi dengan sempurna.

Pada awalnya, terjadi keruntuhan bangunan yang disebabkan oleh kegagalan pada sambungan akibat adanya beban gempa. Gempa yang awalnya menyebabkan kegagalan sambungan balok kolom baja diantaranya Northridge, California, 1994. Kegagalan sambungan terjadi, karena elemen penyambung mengalami gaya yang lebih besar dari kapasitasnya, cacat pada pengelasan, dan faktor ketidak tahuan.

Untuk menghindari peristiwa kegagalan sambungan akibat gaya gempa, disusunlah peraturan-peraturan baru untuk perencanaan bangunan tahan gempa. Pada peraturan-peraturan tersebut, disusun pula peraturan untuk perencanaan sambungan berdasarkan kapasitas. Peraturan yang membahas mengenai perancangan struktur baja tahan gempa diantaranya Seismic Provision for Structural Steel Building (AISC 341), Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications (AISC 358), dll.

Penggunaan sambungan dengan *end-plate* ‘pelat ujung’ diinisiasi akibat banyak kegagalan tidak terduga pada *fully welded connections* ‘sambungan las seluruhnya’ saat terjadi gempa Northridge, California, 1994 (Sumner 2003). Sambungan *end-plate* dapat dijadikan alternatif pada sambungan gempa sistem rangka.

Sambungan *end-plate* adalah sambungan terdiri dari pelat ujung yang *shop-welded* ‘las pabrik’ kemudian dibaut di lapangan. Sambungan ini menggunakan aksi baut tarik untuk menahan momen ujung. Bentuk sambungan ujung ditunjukkan dibawah ini.



(a) Sambungan Balok ke kolom

(b) Sambungan balok

Gambar 1. 1 Penggunaan sambungan momen *end-plate* (Sumner, 2003)

Perilaku hubungan balok kolom perlu dipelajari lebih lanjut. Cara untuk mempelajari hubungan balok kolom diantaranya dengan uji eksperimental di laboratorium ataupun dengan uji numerikal dengan program. Uji eksperiment lebih rumit dan mahal dibandingkan uji numerik, dikarenakan pembuatan model fisik sambungan balok kolom memerlukan waktu dan biaya yang lebih. Selain itu,

pemasangan alat ukur gaya dan regangan yang rumit pada sambungan balok kolom kerap kali menjadi kendala dalam pengujian eksperimental.

Perkembangan teknologi mendorong kemajuan program. Maka dari itu, uji numerikal dengan program semakin dimungkinkan untuk melakukan kalkulasi yang tidak dapat diselesaikan dengan tangan. Sekarang untuk menganalisis suatu perilaku struktur dapat dilakukan menggunakan program berbasis *finite element method* 'metoda elemen hingga'. Dalam ilmu teknik sipil pengaplikasian metoda elemen hingga digunakan dalam beberapa program komersil.

Analisis menggunakan program dapat menghemat waktu dan biaya untuk pembuatan model fisik. Hal ini dikarenakan, tidak perlu merakit specimen, memasang *strain gauge*, dan instalasi mesin. Selain itu uji numerik memiliki hasil yang tidak didapatkan dari uji eksperiment, diantaranya tegangan dan regangan pada setiap langkah analisis.

1.2. Inti Permasalahan

Sambungan merupakan bagian penting dalam rangka pemikul momen untuk memastikan ketegaran struktur dalam memikul beban. Sambungan perlu didesain agar rangkaian transfer beban dapat berjalan dengan baik hingga ke pondasi.

Keruntuhan bangunan biasanya dimulai dari bagian yang paling rawan, yakni kegagalan sambungan dan kegagalan kolom. Untuk dapat mengembangkan mekanisme keruntuhan yang baik, maka sambungan harus didesain mampu menahan gaya yang terjadi. Untuk itu, sambungan harus dapat menahan kapasitas maksimum dari penampang yang disambung. Sehingga, keruntuhan dapat dicegah terjadi pada sambungan.

Di Indonesia sudah banyak digunakan sambungan pelat-ujung dengan *hauns*. Sambungan pelat-ujung dengan *hauns* juga sudah umum digunakan untuk daerah dengan kegempaan tinggi. Namun, di Indonesia belum terdapat peraturan desain sambungan pelat-ujung.

Permasalahan lain yang sering muncul di Indonesia adalah sulitnya mendapatkan pelat tebal dan baut diameter besar. Sehingga, hasil perhitungan peraturan yang berlaku tidak selalu bisa terwujud. Oleh karena itu, biasanya terdapat justifikasi teknis langsung dari desainer.

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tesis berjudul Studi Prakuifikasi Sambungan Pelat-Ujung Balok Baja WF Menggunakan Hauns Dengan Kolom WF adalah sebagai berikut:

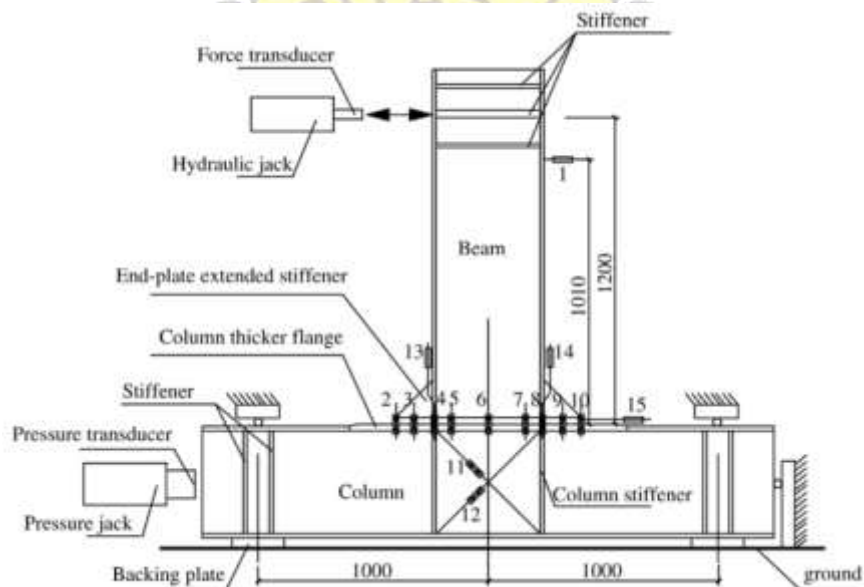
1. Memverifikasi dan mengkalibrasi model metode elemen hingga sambungan *end-plate* dengan model eksperimen.
2. Mendesain sambungan pelat-ujung dengan hauns.
3. Memodelkan sambungan dengan model elemen hingga terkalibrasi.

1.4. Pembatasan masalah

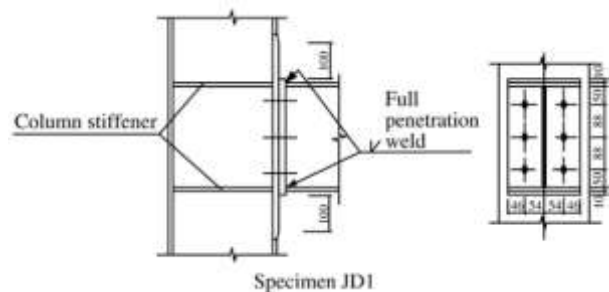
Untuk membatasi pembahasan agar tidak terlalu luas, maka uji numerik dan analisis non-linear yang dilakukan terbatas pada hal-hal sebagai berikut:

1. Kalibrasi dan verifikasi sambungan *end-plate* menggunakan model uji eksperimen berdasarkan makalah dari Shi Gang, dkk yang berjudul *Behaviour of End-Plate Moment Connections Under Earthquake Loading*.

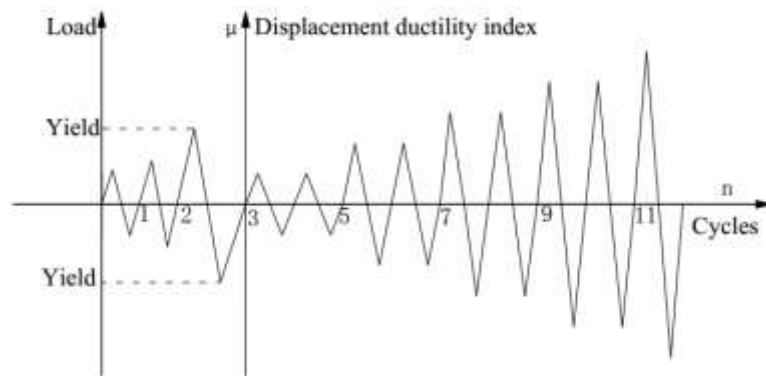
2. Data geometri hubungan balok kolom Shi Gang ditunjukkan oleh **Gambar 1. 2**. Pola pembebanan siklik Shi Gang ditunjukkan oleh **Gambar 1. 4**.
3. Pemodelan elemen hingga sambungan menggunakan program ANSYS.
4. Perhitungan dan pola garis-leleh mengacu kepada penelitian dari AISC *Design Guide*.
5. Verifikasi analisis keruntuhan sambungan dilakukan dengan analisis elemen hingga.
6. Perhitungan dan desain pelat menerus dan pelat penerima kolom mengikuti acuan yang berlaku, yakni AISC 358.



Gambar 1. 2 Pengaturan alat pengujian Shi Gang dkk.



Gambar 1. 3 Bentuk sambungan Shi Gang dkk.



Gambar 1. 4 Pembebanan siklik Shi Gang dkk.

1.5. Metode Penulisan

Penelitian ini dilakukan dengan 2 metode, yakni:

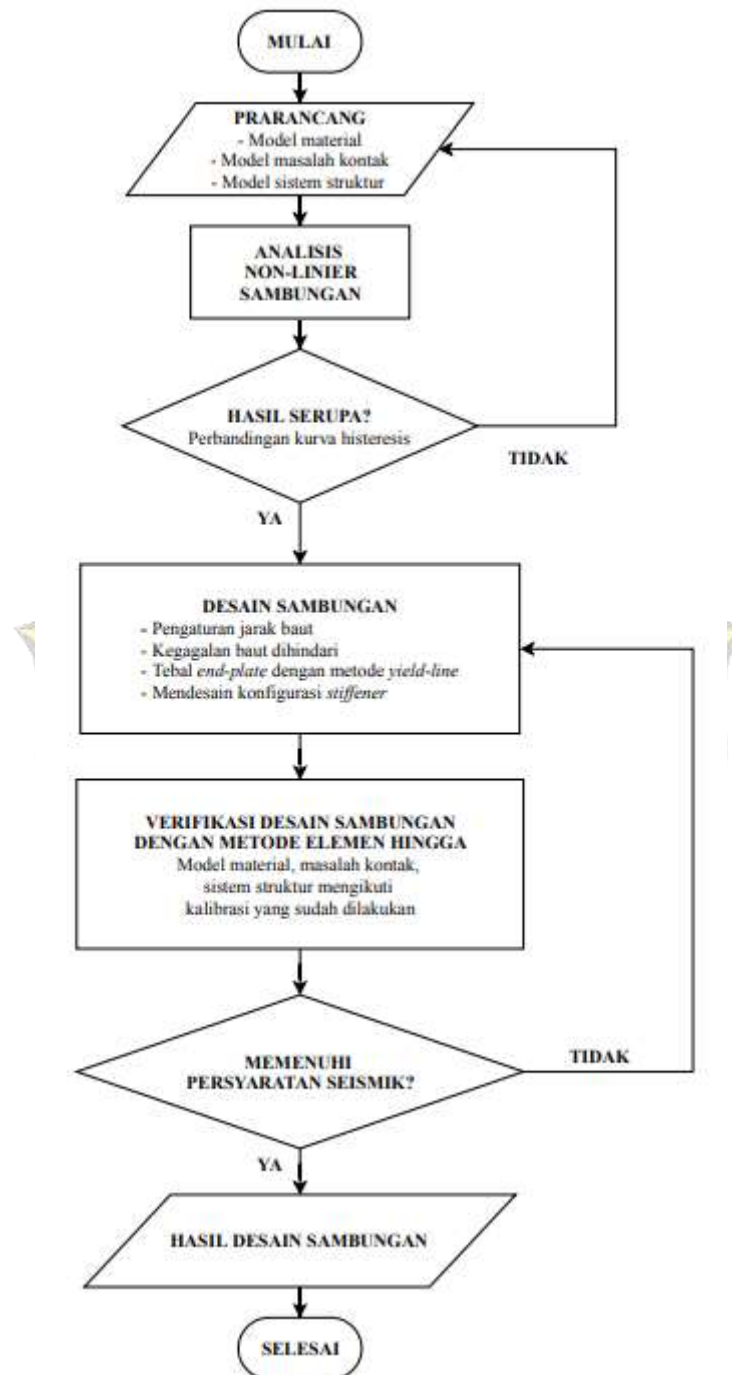
1. Studi pustaka

Studi pustaka sebagai landasan teori mengacu pada buku-buku pustaka, manual dan panduan penggunaan Program ANSYS, makalah yang membahas mengenai sambungan balok kolom, makalah yang membahas mengenai penggunaan Program ANSYS pada masalah kontak, serta skripsi, tesis, dan disertasi yang membahas mengenai sambungan balok kolom dan juga yang membahas mengenai penggunaan program metode elemen hingga pada masalah kontak.

2. Studi analisis

Uji numerik dilakukan dengan menggunakan bantuan Program ANSYS.

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam studi ini ditampilkan dalam diagram alir penelitian pada **Gambar 1.5**.



Gambar 1.5 Diagram alir penelitian

1.6. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan diperlukan agar terlaksananya penulisan skripsi yang terbagi ke dalam enam bab, yakni:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam Bab 1 dibahas latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metoda penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Bab 2 dibahas landasan teori, diantaranya mengenai model benda uji, sambungan pelat ujung, teori garis leleh, rangka momen khusus, prakualifikasi sambungan, dan teori kurva histeresis.

BAB 3 VERIFIKASI DAN KALIBRASI *FINITE ELEMENT MODEL*

Dalam Bab 3 dibahas mengenai kalibrasi model. Cakupan pembahasan yakni meliputi pemodelan material, elemen dan mesh, elemen dan formulasi kontak, *mesh*, kondisi batas, kontrol solusi, serta langkah dan solusi permasalahan.

BAB 4 PERHITUNGAN KAPASITAS SAMBUNGAN PELAT-UJUNG

Dalam Bab 4 dibahas mengenai studi literatur sambungan pelat-ujung, ajuan desain sambungan, perhitungan garis leleh, dan perhitungan kapasitas sambungan.

BAB 5 PEMBAHASAN HASIL ANALISIS SAMBUNGAN

Dalam Bab 5 dibahas mengenai hasil uji numerik, pemilihan konfigurasi pengaku, validasi kapasitas sambungan, kurva histeresis, dan bentuk garis leleh.

BAB 6 AJUAN DESAIN SAMBUNGAN PELAT-UJUNG BALOK DENGAN HAUNS TERPRAKUALIFIKASI

Dalam Bab 6 dibahas mengenai ajuan desain sambungan pelat-ujung balok dengan hauns terprakualifikasi.

BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam Bab 7 dibahas mengenai kesimpulan dan saran.



