

# **SKRIPSI**

## **ANALISIS KEKAKUAN ELEMEN PELAT UJUNG YANG DIPERKAKU UNTUK SAMBUNGAN PENAHAN MOMEN BALOK BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**



**JOSHUA OLIVER HASUDUNGAN**

**NPM : 2017410172**

**PEMBIMBING : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.**

**KO – PEMBIMBING : Wisena Perceka, Ph.D.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No.  
1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)**

**BANDUNG**

**AGUSTUS 2021**

# SKRIPSI

## ANALISIS KEKAKUAN ELEMEN PELAT UJUNG YANG DIPERKAKU UNTUK SAMBUNGAN PENAHAN MOMEN BALOK BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA



**JOSHUA OLIVER HASUDUNGAN**

**NPM : 2017410172**

**PEMBIMBING : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.**

.....  
*[Signature]*

**KO – PEMBIMBING : Wisena Perceka, Ph.D.**

11/08 2021  
.....  
*[Signature]*

**PENGUJI 1 : Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D.**

.....  
*[Signature]*

**PENGUJI 2 : Dr. Djoni Simanta, Ir., M.T.**

.....  
*[Signature]*

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No.  
1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)  
BANDUNG  
AGUSTUS 2021**

## PERNYATAAN

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

Nama : Joshua Oliver  
NPM : 2017410172  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi<sup>\*)</sup> dengan judul:

**Analisa Kekakuan Sambungan Stiffened Bolted End Plate (BEP) Dengan Metode Elemen Hingga**

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 Jakarta

Tanggal: 27 Agustus 2021

  
Joshua Oliver

\*) coret yang tidak perlu

# **ANALISIS KEKAKUAN ELEMEN PELAT UJUNG YANG DIPERKAKU UNTUK SAMBUNGAN PENAHAN MOMEN BALOK BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Joshua Oliver Hasudungan**

**NPM : 2017410172**

**PEMBIMBING : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.**

**KO – PEMBIMBING : Wisena Perceka, Ph.D.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No.  
1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)**

**BANDUNG**

**AGUSTUS 2021**

**ABSTRAK**

Sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) harus memenuhi kriteria kolom kuat balok lemah sehingga memerlukan sambungan terpraktualifikasi yang bersifat tertahan penuh/*fully restrained*. Salah satu sambungan terpraktualifikasi adalah sambungan pelat ujung berbaut dengan pengaku/*stiffened bolted end plate* (BEP) dengan konfigurasi 4 baut, sesuai rekomendasi SNI7972-2020/AISC 358-16. Dalam SNI7972-2020 tebal pelat ujung ditentukan hanya berdasarkan batas kekuatan leleh sedangkan kekakuan pelat ujung belum diperhitungkan secara eksplisit. Oleh karena itu, studi mengenai pengaruh kekakuan pelat ujung berbaut dengan pengaku tersebut diperlukan. Di dalam skripsi ini, suatu balok sebagai bagian sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan sambungan pelat ujung berbaut dengan pengaku dimodelkan menggunakan program ABAQUS. Analisis dilakukan dengan memberikan peralihan vertikal di ujung balok secara statik dan bertahap sehingga menghasilkan deformasi elastis dan inelastis pada pelat ujung dan balok. Model sederhana untuk kekakuan pada pelat ujung dikembangkan dengan analogi dua balok bersilangan pada bagian pelat ujung yang tersambung dengan sayap balok tertarik. Dari hasil analisis dengan variasi ketebalan pelat ujung, diperoleh hubungan linier antara ketebalan dengan lebar ekuivalen pelat yang berdeformasi akibat gaya tarik sayap balok untuk perhitungan kekakuan elemen pelat ujung. Berdasarkan tinjauan perilaku inelastis, pelat ujung dengan ketebalan 60%~100% nilai ketebalan pelat ujung minimum menurut ketentuan SNI7972-2020 mencukupi untuk terbentuknya sendi plastis pada penampang balok. Hal ini menunjukkan pelat ujung yang didesain sesuai SNI7972-2020 konservatif untuk digunakan sebagai sambungan terpraktualifikasi.

Kata kunci : sambungan pelat ujung berbaut dengan pengaku/*stiffened bolted end plate connections*, struktur rangka pemikul momen khusus, kekakuan sambungan, metode elemen hingga



# **ANALYSIS OF STIFFENED END PLATES STIFFNESS FOR BEAM MOMENT RESISTING CONNECTIONS USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Joshua Oliver Hasudungan**

**NPM : 2017410172**

**Advisor : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.**

**Co - Advisor : Wisena Perceka, Ph.D.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTEMENT OF CIVIL  
ENGINEERING**

**(Accredited by SK BAN-PT Number. 1788/SK/BAN-  
PT/Akred/S/VII/2018)**

**BANDUNG**

**AUGUST 2021**

**ABSTRACT**

Strong-column-weak-beam criteria in special moment resisting frames require prequalified moment connections which are categorized as fully restrained. One of prequalified connections, as recommended in AISC358-16, is four-bolt stiffened bolted end plate (BEP). According to AISC358-16, end plate stiffness is determined based on its yielding capacity meanwhile stiffness of the end plate is not considered explicitly. Therefore, end plate stiffness in stiffened BEP connections needs to be evaluated. A numerical study is conducted to model and analyse a beam, in a special moment resisting frames, connected with a stiffened bolted end plate using ABAQUS. Incremental static vertical displacement is applied at the beam end to cause elastic and inelastic deformation on the beam and the end plate. A simplified model for end plate stiffness is developed with an analogy of a two-crossing-beam in the end plate part connected to the beam tension flange. From the analyses with various end plate thicknesses, a linear relationship between end plate thickness and its equivalent width is found to estimate end plate deformation due to beam flange tension force. Based on the inelastic behaviour, end plate thicknesses, ranged from 60% to 100% of what required according to AISC358-16, are sufficient to develop plastic hinges in the beams. This demonstrates the conservativeness of AISC358-16 method in determining an end plate thickness as a part of a prequalified moment connection.

Key words : stiffened bolted end plate connection, special moment resisting frame, connection stiffness, finite element method

## PRAKATA

Puji syukur saya haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan kartunia Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Analisis Kekakuan Sambungan Bolted End Plate (BEP) Dengan Metode Elemen Hingga. Skripsi ini merupakan syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Sepanjang proses penulisan skripsi, banyak kesulitan yang dialami oleh penulis, akan tetapi penulis dapat menyelesaikan skripsi ini berkat bantuan dari berbagai pihak-pihak yang bersangkutan dalam mengatasi permasalahan tersebut. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan wawasan kepada penulis dengan baik selama proses penulisan skripsi.
2. Bapak Wisena Perceka, Ph. D. selaku dosen ko-pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan wawasan kepada penulis dengan baik selama proses penulisan skripsi.
3. Bapak Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan, dan kritik kepada penulis untuk menghasilkan penulisan skripsi yang lebih baik.
4. Bapak Dr. Djoni Simanta, Ir., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan, dan kritik kepada penulis untuk menghasilkan penulisan skripsi yang lebih baik.
5. Orang tua dan adik penulis yang senantiasa memberi dukungan moril serta doa kepada penulis.
6. Fienka W, Adam Muzakki, dan Nandita Afi selaku teman-teman yang memberikan dukungan selama masa perkuliahan.
7. Alvin Setiawan, Christopher Jason, dan Ryan Bearberry yang menjadi teman diskusi selama penulisan skripsi.
8. Stefano Jose, Shandy P.N, dan Juan Kevin yang senantiasa memberikan bantuan, motivasi, dan semangat kepada penulis.

9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih terdapat banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Terima kasih.

Jakarta, 3 Juli 2021



Joshua Oliver Hasudungan

2017410172





# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
PRAKATA .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR NOTASI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB 1    PENDAHULUAN .....</b>	<b>1-1</b>
1.1    Latar Belakang Permasalahan .....	1-1
1.2    Rumusan Masalah .....	1-4
1.3    Tujuan Penelitian .....	1-5
1.4    Pembatasan Masalah .....	1-5
1.5    Metode Penelitian .....	1-6
1.6    Sistematika Penulisan .....	1-7
1.7    Diagram Alir .....	1-8
<b>BAB 2    TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>2-1</b>
2.1    Material Struktural .....	2-1
2.2    Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus .....	2-2
2.3    Desain Sambungan Pelat Ujung dengan Pengaku .....	2-3
2.3.1    Persyaratan Prakuualifikasi .....	2-5
2.3.2    Persyaratan hubungan balok-kolom .....	2-5
2.3.3    Pelat Menerus .....	2-6
2.3.4    Prosedur Desain Sambungan .....	2-6
2.4    Metode Elemen Hingga .....	2-13

BAB 3	DESAIN DAN PEMODELAN .....	3-1
3.1	Sistem Struktur .....	3-1
3.2	Desain Elemen Struktur .....	3-2
3.2.1	Desain Profil Balok dan Kolom .....	3-2
3.2.2	Desain Sambungan Balok dan Kolom .....	3-5
3.3	Pemodelan Finite Elemen Method (FEM) .....	3-7
3.3.1	Geometri Model .....	3-7
3.3.2	Properti Material .....	3-8
3.3.3	Pembebanan .....	3-9
3.3.4	Perletakan .....	3-10
3.3.5	Meshing Model .....	3-10
3.3.6	Constraint Model.....	3-10
3.3.7	Interaksi Kontak Model.....	3-10
3.4	Variasi Model.....	3-11
BAB 4	HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	4-1
4.1	Tinjauan Perilaku Global.....	4-1
4.2	Tinjauan Kekakuan Rotasi .....	4-2
4.2.1	Analogi Dua Balok Bersilangan .....	4-8
4.2.2	Kurva Momen Terhadap Rotasi.....	4-12
4.2.3	Perhitungan Formulasi Kekakuan.....	4-13
4.3	Kelelahan Sendi Plastis .....	4-16
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN .....	5-1
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran .....	5-2
DAFTAR PUSTAKA	.....	5-1

## DAFTAR NOTASI

AISC	:	<i>American Institute of Steel Construction</i>
$A$	:	Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )
$A_{gb}$	:	Luas penampang balok bruto ( $\text{mm}^2$ )
$A_{gc}$	:	Luas penampang kolom bruto ( $\text{mm}^2$ )
$b_b$	:	Lebar sayap balok (mm)
$b_c$	:	Lebar sayap kolom (mm)
$b_p$	:	Lebar pelat ujung (mm)
$b_c$	:	Lebar kolom (mm)
$b'$	:	Lebar balok bersilangan (mm)
$d$	:	Tinggi penampang balok (mm)
$db$	:	Diameter baut
$C_{pr}$	:	Faktor perkiraan kekuatan puncak sambungan
$E$	:	Modulus elastisitas baja (MPa)
$F_u$	:	Tegangan tarik minimum (MPa)
$F_y$	:	Tegangan leleh minimum (MPa)
$f'_c$	:	Tegangan tekan beton (MPa)
$f_{yp}$	:	Tegangan leleh tabung baja persegi (MPa)
$H_{st}$	:	Tinggi pengaku (mm)
$K_{\theta}$	:	Kekakuan rotasi ( $\text{kN.m/rad}$ )
$L$	:	Panjang komponen struktur (mm)
$L_h$	:	Jarak antara lokasi sendi plastis (mm)
$L_w$	:	Panjang sambungan las (mm)
$L_b$	:	Panjang balok (mm)
$L_c$	:	Panjang kolom (mm)
$M_{pe}$	:	Momen lentur plastis (N-mm)
$M_f$	:	Momen maksimum yang mungkin terjadi pada muka kolom (N-mm)
$M_{pr}$	:	Momen maksimum yang mungkin terjadi (N-mm)
Ni	:	Panjang baut bagian dalam (mm)

No	:	Panjang baut bagian luar (mm)
$P$	:	Beban aksial (kN)
$P'$	:	Beban tengah bentang pada balok bersilangan (kN)
$P_n$	:	Kekuatan tekan nominal (kN)
$r$	:	Radius girasi (mm)
SPRMK	:	Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
$R_y$	:	Rasio kekuatan leleh terekspektasi terhadap $F_y$
SNI	:	Standar Nasional Indonesia
$S_h$	:	Jarak dari muka kolom ke sendi plastis (mm)
$t_{bf}$	:	Ketebalan sayap balok (mm)
$t_c$	:	Ketebalan tabung baja persegi (mm)
$t_{cf}$	:	Ketebalan sayap kolom (mm)
$t_d$	:	Ketebalan pelat diafragma (mm)
$t_s$	:	Ketebalan pelat stiffener (mm)
$t_p$	:	Ketebalan pelat pelat ujung (mm)
$V_{gravitasi}$	:	Gaya geser balok akibat beban gravitasi (N)
$V_n$	:	Gaya geser balok nominal (N)
$V_u$	:	Gaya geser perlu dari balok dan sambungan badan balok-ke kolom (N)
$Y$	:	Lendutan (mm)
$Z_x$	:	Modulus penampang plastis terhadap sumbu-x, untuk penampang balok penuh (mm <sup>3</sup> )
$\varepsilon$	:	Regangan aksial
$\lambda$	:	Rasio kelangsingan efektif
$\sigma_y$	:	Tegangan leleh uniaksial (MPa)
$\phi_d$	:	Faktor ketahanan untuk keadaan batas daktail
$\tau_y$	:	Tegangan leleh geser (MPa)



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Ilustrasi konfigurasi sambungan pelat ujung berbaut .....	1-2
<b>Gambar 1.2</b> Ilustrasi Momen rotasi .....	1-3
<b>Gambar 1.3</b> Diagram alur formulasi kekakuan pelat ujung.....	1-4
<b>Gambar 1.4</b> Tampak atas pelat ujung berbaut 4 dengan pengaku (AISC 358-16) .....	1-6
<b>Gambar 1.5</b> Tampak pelat ujung berbaut 4 dengan pengaku (AISC 358-16) ...	1-6
<b>Gambar 2.1</b> Kurva tegangan regangan baja.....	2-1
<b>Gambar 2.2</b> Geometri pelat ujung dengan 4 baut tanpa pengaku.....	2-3
<b>Gambar 2.3</b> Geometri pelat ujung 4 baut dengan pengaku .....	2-4
<b>Gambar 2.4</b> Geometri pelat ujung 8 baut dengan pengaku .....	2-4
<b>Gambar 2.5</b> Sambungan pelat ujung 4 baut dengan pengaku (AISC 358-16) ...	2-7
<b>Gambar 2.6</b> Geometri sayap kolom diperkaku dan pola garis leleh.....	2-10
<b>Gambar 3.1</b> Skematik model penelitian .....	3-1
<b>Gambar 3.2</b> Potongan melintang bangunan.....	3-2
<b>Gambar 3.3</b> Profil balok W506 x 201 x 11 x 19.....	3-3
<b>Gambar 3.4</b> Profil kolom W612 x 202 x 13 x 23 .....	3-3
<b>Gambar 3.5</b> Pemodelan pembebanan .....	3-9
<b>Gambar 4.1</b> Skema Penurunan Balok.....	4-1
<b>Gambar 4.2</b> Kurva Beban - Perpindahan.....	4-2
<b>Gambar 4.3</b> Tampak 3 dimensi <i>contact opening</i> pelat ujung 28 mm.....	4-3
<b>Gambar 4.4</b> Tampak samping <i>contact opening</i> pelat ujung 28 mm.....	4-3
<b>Gambar 4.5</b> Tampak 3 dimensi <i>contact opening</i> pelat ujung 25 mm.....	4-4
<b>Gambar 4.6</b> Tampak samping <i>contact opening</i> pelat ujung 25 mm.....	4-4
<b>Gambar 4.7</b> Tampak 3 dimensi <i>contact opening</i> pelat ujung 21 mm.....	4-5
<b>Gambar 4.8</b> Tampak samping <i>contact opening</i> pelat ujung 21 mm.....	4-5
<b>Gambar 4.9</b> Tampak 3 dimensi <i>contact opening</i> pelat ujung 17 mm.....	4-6
<b>Gambar 4.10</b> Tampak samping <i>contact opening</i> pelat ujung 17 mm.....	4-6
<b>Gambar 4.11</b> Tampak 3 dimensi <i>contact opening</i> pelat ujung 14 mm.....	4-7
<b>Gambar 4.12</b> Tampak samping <i>contact opening</i> pelat ujung 14 mm.....	4-7
<b>Gambar 4.13</b> Gaya tarik pada pelat ujung .....	4-8

<b>Gambar 4.14</b> Pola <i>contact opening</i> di titik A pada pelat ujung 28 mm .....	4-9
<b>Gambar 4.15</b> Pola <i>contact opening</i> di titik A pada pelat ujung 25 mm .....	4-9
<b>Gambar 4.16</b> Pola <i>contact opening</i> di titik A pada pelat ujung 21 mm .....	4-10
<b>Gambar 4.17</b> Pola <i>contact opening</i> di titik A pada pelat ujung 17 mm .....	4-10
<b>Gambar 4.18</b> Pola <i>contact opening</i> di titik A pada pelat ujung 14 mm .....	4-11
<b>Gambar 4.19</b> Ilustrasi 2 balok bersilangan pada pelat ujung.....	4-11
<b>Gambar 4.20</b> Perbandingan kurva momen rotasi untuk setiap ketebalan pelat ujung.....	4-12
<b>Gambar 4.21</b> Perbandingan kurva momen-rotasi pelat ujung ketebalan 28 mm, 25mm, 21 mm,17 mm, dan 14 mm pada kondisi plastis .....	4-13
<b>Gambar 4.22</b> Ilustrasi 2 balok bersilangan dengan beban terpusat di tengah bentang .....	4-14
<b>Gambar 4.23</b> Plotting nilai lebar masing-masing pelat ujung .....	4-16
<b>Gambar 4.24</b> Regangan plastis (PEEQ) pertama (a) peralihan (b) dan akhir (c) pada pelat ujung 28 mm .....	4-18
<b>Gambar 4.25</b> Regangan plastis (PEEQ) pertama (a) peralihan (b) dan akhir (c) pada pelat ujung 25 mm .....	4-19
<b>Gambar 4.26</b> Regangan plastis (PEEQ) pertama (a) dan akhir (b) pada pelat ujung 21 mm .....	4-20
<b>Gambar 4.27</b> Regangan plastis (PEEQ) pertama (a) peralihan (b) dan akhir (c) pada pelat ujung 17 mm .....	4-21
<b>Gambar 4.28</b> Regangan plastis (PEEQ) pertama (a) peralihan (b) dan akhir (c) pada pelat ujung 14 mm .....	4-22

## DAFTAR TABEL

<b>Table 0.1</b> Tabel nilai rotasi dan kekakuan rotasi pada pelat ujung dengan variasi ketebalan .....	4-13
<b>Table 0.2</b> Nilai lendutan dan beban terpusat masing-masing ketebalan pelat ujung .....	4-15
<b>Table 0.3</b> Nilai lebar balok untuk masing-masing ketebalan pelat ujung .....	4-15





## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN DAKTILITAS

LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN DESAIN SAMBUNGAN BOLTED END  
PLATE



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Permasalahan

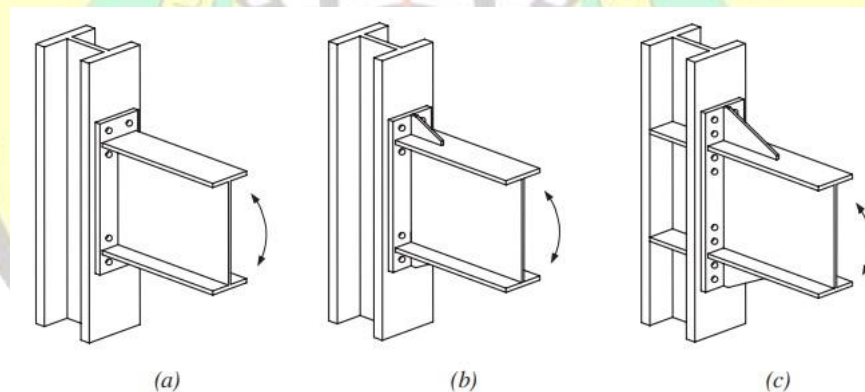
Indonesia dikategorikan sebagai negara dengan tingkat kerawanan gempa bumi yang sangat tinggi karena dilalui oleh pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Australia. Berdasarkan data peristiwa gempa bumi dari United States Geological Survey – National Earthquake Information Center) atau USGS-NEIC, terjadi kenaikan jumlah peristiwa gempa di Indonesia untuk gempa bumi di atas 7 Magnitudo. Dengan kekuatan gempa yang besar, jelas memberikan dampak yang besar terhadap stabilitas bangunan dan infrastruktur di Indonesia. Berdasarkan fakta tersebut, perancangan gedung dan bangunan di Indonesia diatur sedemikian rupa dan diberikan suatu regulasi dalam memberikan standar perancangan gedung baja terkait aktivitas gempa bumi di Indonesia. Regulasi ini sudah diberlakukan sejak tahun 1983 secara merata hampir keseluruhan Indonesia untuk mengantisipasi bahaya keruntuhan bangunan akibat dari gempa bumi itu sendiri.

Dengan kondisi Indonesia yang rawan terhadap gempa, konstruksi baja merupakan material yang sangat baik dan banyak diminati saat ini karena memiliki kekuatan dan daktilitas yang tinggi. Dalam perancangan konstruksi baja yang tahan terhadap gempa, bagian-bagian struktur seperti balok, kolom, *braces*, dan sambungan harus di desain sedemikian rupa untuk melebihi dari batas elastis tanpa kehilangan nilai kekuatan yang sangat signifikan. Pada konstruksi baja, kerusakan banyak terjadi pada sambungan balok dan kolom, maka dari itu perlu diperhatikan secara khusus pada bagian sambungan supaya tidak terjadi keruntuhan akibat dari beban gempa.

Standart spesifikasi desain, detailing, fabrikasi dan kriteria kualitas untuk sambungan terqualifikasi sesuai dengan AISC *Seismic Provisions for structural steel buildings* digunakan pada *Special Moment Frame (SMF)* dan *Intermediate Moment Frame (IMF)*. *Seismic Special Moment Frame (SMF)* memiliki sifat daktilitas yang tinggi maka diharapkan dapat digunakan untuk menahan deformasi

inelastis pada desain akibat gaya lateral dari gempa. SMF di desain dengan menggunakan mekanisme sendi plastis pada ujung dari balok dan kolom untuk memberikan kekuatan kolom lebih besar dibandingkan kekuatan pada balok yaitu konsep *strong column weak beam*. Terdapat beberapa jenis sambungan momen terkualifikasi berdasarkan SNI7972-2020, seperti pelat ujung diperpanjang berbaut dan tanpa pengaku (PUDBTP) dan pelat ujung diperpanjang berbaut dan dengan pengaku (PUBDP)

Terdapat beberapa jenis sambungan antara balok dan kolom baja, salah satunya adalah sambungan pelat ujung berbaut atau *bolted end plate connection*. *Bolted end plate connection* dibuat dengan menyambungkan dengan las antara balok dengan pelat ujung kemudian memasang baut antara pelat ujung dengan sayap kolom. Terdapat 3 konfigurasi yang memenuhi prakualifikasi dari AISC *Seismic Provisions* yaitu (a) empat baut tanpa pengaku, (b) empat baut dengan pengaku, dan (c) depalan baut dengan pengakus. Ilustrasi konfigurasi sambungan pelat ujung dapat dilihat pada Gambar 1.1.



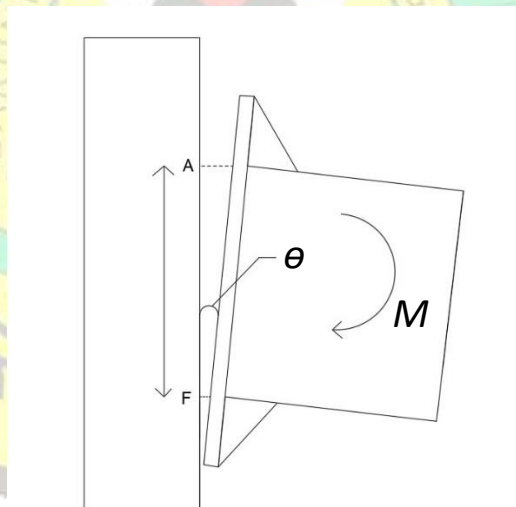
**Gambar 1.1** Ilustrasi konfigurasi sambungan pelat ujung berbaut

(Sumber : AISC 358-16)

Perilaku dari sambungan pelat ujung sangat mempengaruhi dari gaya dalam dan keseluruhan deformasi dari stabilitas struktur rangka baja. Permasalahan dari fleksibilitas sambungan dan dampaknya terhadap perilaku struktur baja sangat menjadi perhatian dari insinyur dan peneliti lebih dari 90 tahun. Pada AISC 358-16, perhitungan desain pada elemen sambungan pelat ujung hanya berdasarkan dari

nilai kekuatan, belum ada tinjauan kekakuan dalam melakukan penentuan konfigurasi sambungan pelat ujung, dimana ada prosedur desain pada AISC 358-16, dikatakan bahwa semua sambungan yang terkandung dalam standar ini, harus diperhitungkan tertahan penuh (tipe TP) untuk tujuan analisis seismik. Transfer gaya tarik dari sayap balok ke sayap kolom melalui sambungan baut akan mengakibatkan deformasi lentur pada pelat ujung dan menyebabkan fleksibilitas rotasi pada sambungan. Berdasarkan hal tersebut, dalam melakukan perhitungan desain pelat ujung berbaut perlu dilakukan peninjauan lebih lanjut apakah perlu mempertimbangkan nilai kekakuan pada suatu struktur.

Pada perhitungan ketebalan pelat ujung, hanya momen permukaan kolom dan momen pada garis tengah kolom, dimana nilai kekakuan rotasi tidak diperhitungkan pada penentuan ketebalan pelat ujung tersebut. Nilai kekakuan rotasi didapatkan dari perilaku pelat ujung yang tertarik pada bagian atas dan tertekan pada bagian bawah akibat gaya pada ujung balok, sehingga menimbulkan deformasi yang besar pada titik A, dan deformasi yang sangat kecil pada titik F, sehingga dapat diasumsikan titik F sebagai pusat rotasi, seperti pada Gambar 1.2.



**Gambar 1.2** Ilustrasi Momen rotasi

Kekakuan sambungan pelat ujung tanpa pengaku telah dievaluasi oleh Mohamadi-Shoore & Mofid (2011). Pada penelitian tersebut menghasilkan rekomendasi persamaan-persamaan untuk memprediksi kekakuan sambungan untuk fase kekakuan awal, *intercept constant moment*, *strain hardening stiffness*.

Kekakuan fase *initial stiffness* dan *intercept constant moment* dipengaruhi oleh geometri dari sambungan tersebut. Akurasi persamaan-persamaan kekakuan tersebut telah diverifikasi terhadap hasil eksperimental dan analisis numerik. telah merumuskan suatu formula untuk memprediksi kekakuan sambungan.

Pada perhitungan kekakuan pada suatu sambungan pelat ujung, terdapat beberapa hal yang perlu ditinjau dalam pemodelan untuk menghasilkan formula akhir kekakuan rotasi, seperti pada Gambar 1.3 berikut :



**Gambar 1.3** Diagram alur formulasi kekakuan pelat ujung

Dengan menggabungkan 3 kombinasi rumus kekakuan pelat ujung, penelitian ini akan meninjau kekakuan rotasi pelat ujung berdasarkan deformasi pelat ujung itu sendiri, yang kemudian akan menghasilkan rumus kekakuan sistem pelat ujung sebagai berikut :

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{K_{\text{pelat ujung}}} + \frac{1}{K_{\text{kolom}}} + \frac{1}{K_{\text{baut}}}$$

Berdasarkan pada AISC 358-16 semua sambungan harus diperhitungkan dalam kondisi tertahan penuh, dimana persyaratan tertahan penuh diambil berdasarkan persamaan (13.6-28) pada AISC 358-16 untuk perhitungan sambungan *double tee* dengan perhitungan kekakuan rotasi sebagai berikut :

$$K_i \geq \frac{18EI_{\text{beam}}}{L_o}$$

## 1.2 Rumusan Masalah

Kekakuan sambungan pelat ujung dengan pengaku belum diperhitungkan dalam perhitungan desain, namun dapat mempengaruhi perilaku dari Struktur Rangka Momen Khusus (RMK). Formulasi kekakuan pelat ujung dengan pengaku

diperlukan untuk menghasilkan sambungan yang memenuhi kriteria untuk digunakan dalam RMK.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

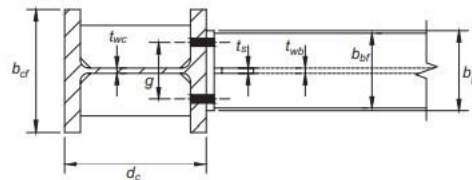
1. Mendesain, memodelkan, dan menganalisis perilaku elastis sambungan pelat ujung berbaut dengan pengaku yang menahan momen berdasarkan AISC 358 – 16, AISC Design Guide 04, FEMA 350, dan SNI 7972-2020;
2. Menghasilkan rumus kekakuan rotasi untuk elemen pelat ujung berbaut dengan pengaku, dengan mengaplikasikan prinsip-prinsip mekanika pada kondisi elastis;

### 1.4 Pembatasan Masalah

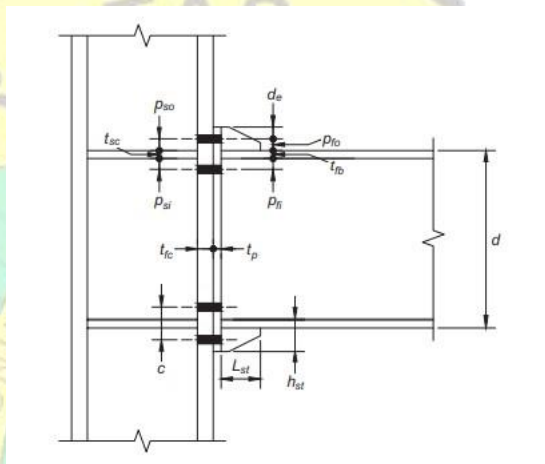
Dengan dan analisis dalam penelitian ini diberi Batasan-batasan sebagai berikut :

1. Desain dan analisis dilakukan pada sub-struktur balok baja yang tersambung ke kolom dengan pelat ujung mengacu pada AISC 358-16, SNI7972-2020 dan AISC Design Guide 04;
2. Tipe sambungan adalah pelat ujung berbaut dengan pengaku, dengan empat baut untuk masing-masing pada sayap (Gambar 1.2 dan Gambar 1.3);
3. Pemodelan dan analisis elemen hingga menggunakan program Abaqus;
4. Profil baja yang digunakan adalah profil baja WF;
5. Ukuran balok dan kolom berdasarkan pemodelan bangunan pada FEMA P-751 *NEHRP recommended Provisions :Design Examples (Ten-Story Hospital, Seattle, Washington)*
6. Jenis material baja yang digunakan untuk balok, pelat ujung dan pelat baja adalah BJ-37 ( $F_y = 240$  MPa);
7. Jenis material untuk daerah diameter kepala baut memiliki kekakuan yang tinggi dengan  $E = 200000000$ , dan poisson ratio = 0;
8. Jenis material baut pretensi yang digunakan adalah ASTM A325;
9. Deformasi yang ditinjau adalah deformasi pelat ujung;

10. Analisis dilakukan pada model balok sambungan pelat ujung yang mengalami momen lentur;



**Gambar 1.4** Tampak atas pelat ujung berbaut 4 dengan pengaku (AISC 358-16)



**Gambar 1.5** Tampak pelat ujung berbaut 4 dengan pengaku (AISC 358-16)

## 1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

### 1. Studi Literatur

Pada penulisan skripsi ini, literatur digunakan sebagai sumber informasi yang dibutuhkan yang berasal dari berbagai jenis, yaitu buku referensi, makalah ilmiah, serta peraturan dan panduan desain yang diterbitkan oleh AISC dan FEMA.

## 2. Studi analisis numerik

Analisis numerik dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga untuk melakukan pemodelan dan analisis dengan menggunakan *software* Abaqus.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan sebagai berikut :

#### BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan;

#### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori dasar yang digunakan pada studi ini sebagai landasan penelitian;

#### BAB III DESAIN DAN PEMODELAN

Berisi pemodelan dan desain balok pelat ujung berbaut dengan pengaku dalam analisis studi ini;

#### BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil proses analisis dari pemodelan numerik dan pembahasan terhadap parameter yang diteliti;

#### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan akhir yang diambil dari hasil analisis dari pemodelan dan berisi saran-saran berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada pembahasan



### 1.7 Diagram Alir

