

**PENGARUH BEBAN SIKLIK BIAKSIAL PADA  
SAMBUNGAN DIAFRAGMA MENERUS BALOK WF  
DENGAN KOLOM HSS**

**TESIS**



**Oleh:**

**Jeremy Budiono**

**2016831040**

**Pembimbing:**

**Dr. Djoni Simanta**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
JANUARI 2019**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH BEBAN SIKLIK BIAKSIAL PADA SAMBUNGAN  
DIAFRAGMA MENERUS BALOK WF DENGAN KOLOM HSS**



**Oleh:**

**Jeremy Budiono**

**2016831040**

**Persetujuan Untuk Sidang Tesis pada Hari/Tanggal  
Rabu, 16 Januari 2019**

**Pembimbing:**

**Dr. Djoni Simanta**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
JANUARI 2019**

## **Pernyataan**

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

Nama : Jeremy Budiono  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2016831040  
Program Studi : Teknik Sipil  
Program Pascasarjana  
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul:

**Pengaruh Beban Siklik Biaksial pada Sambungan Diafragma  
Menerus Balok WF dengan Kolom HSS**

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan Pembimbing, dan 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 : 7 Januari 2019

Jeremy Budiono

# **PENGARUH BEBAN SIKLIK BIAKSIAL PADA SAMBUNGAN DIAFRAGMA MENERUS BALOK WF DENGAN KOLOM HSS**

**Jeremy Budiono (NPM: 2016831040)**

**Pembimbing: Dr. Djoni Simanta**

**Magister Teknik Sipil**

**Bandung**

**Januari 2019**

## **ABSTRAK**

Penelitian tentang sambungan baja tahan gempa pada sistem rangka pemikul momen khusus dan menengah (SRPMK dan SRPMM) mensyaratkan sambungan yang terpraktualifikasi dalam AISC 358-16. Sambungan menggunakan pelat diafragma antara kolom HSS dengan balok WF yang berkiblat dari Jepang masih belum terpraktualifikasi dalam AISC 358-16. Sesuai dengan aplikasinya, maka studi ini bertujuan untuk mempelajari tentang perilaku sambungan ini akibat beban biaksial. Namun, dikarenakan oleh keterbatasan alat pengujian eksperimental, maka perilaku biaksial sambungan akan diwakilkan oleh model elemen hingga yang terkalibrasi berdasarkan penelitian oleh Yamazaki et al. (2010), dengan bantuan program ANSYS *Workbench*. Studi menunjukkan bahwa beban biaksial yang paling kritis terhadap kolom adalah beban biaksial simetris dengan kedua balok plastis bersamaan (beban 100%). Kekuatan sambungan dapat mengalami perlemahan hingga 8.18% dengan semakin besarnya beban biaksial. Namun, apabila kolom dan zona panel semakin kuat, maka beban biaksial tidak memperlemah sambungan. Oleh karena itu, persyaratan SC/WB menjadi hal yang penting terhadap perilaku biaksial sambungan. Studi menunjukkan bahwa penggunaan persyaratan SC/WB mengikuti sambungan biaksial ConXL dapat diaplikasikan untuk SC/WB sambungan diafragma menerus berdasarkan analisis elemen hingga. Rekomendasi untuk prosedur desain sambungan ini yang menggabungkan antara persyaratan AISC dan AIJ diberikan dalam studi ini.

**Kata Kunci:** Sambungan Diafragma Menerus, Beban Siklik Biaksial, Metode Elemen Hingga, Kolom HSS

# **BIAXIAL CYCLIC LOADING EFFECTS ON THROUGH DIAPHRAGM CONNECTION OF WF BEAM TO HSS COLUMN**

**Jeremy Budiono (NPM: 2016831040)**

**Adviser: Dr. Djoni Simanta**

**Magister of Civil Engineering**

**Bandung**

**Januari 2019**

## **ABSTRACT**

Research on earthquake resistant steel connection for special and intermediate moment frame systems (SMF and IMF) requires a connection that is prequalified in AISC 358-16. Connections using diaphragm plates between HSS columns and WF beams from Japan has not been prequalified in AISC 358-16. In accordance with its application, this study aims to learn about the behavior of this connection due to biaxial loads. However, because of the limitations of the experimental testing instruments, the biaxial behavior of the connection will be represented by a finite element model calibrated based on a study by Yamazaki et al. (2010), with the help of the ANSYS Workbench program. Studies show that the strength of the connection will be weakened up to 8.18% with the increasing biaxial load. However, if the column and panel zone are stronger, the biaxial load does not weaken the connection. Therefore, the requirements of SC/WB are important for the behavior of biaxial connections. Studies show that the use of SC/WB requirements that follows the ConXL biaxial connection requirements can be applied for through diaphragm connection based on the finite element model. A recommendation for connection design procedure that combine the requirements of AISC and AIJ is presented in this study.

**Keywords:** Through Diaphragm Connection, Biaxial Cyclic Loading, Finite Element Method, HSS Column

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih setia dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul *Pengaruh Beban Siklik Biaksial pada Sambungan Diafragma Menerus Balok WF Dengan Kolom HSS*. Tesis ini dibuat dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi di tingkat S-2 di Magister Teknik, Konsentrasi Teknik Struktur, Universitas Katolik Parahyangan.

Banyak hambatan dan kesulitan yang penulis rasakan dalam penulisan tesis ini. Namun berkat dukungan, saran, serta kritik yang membangun dari berbagai pihak, maka tesis ini dapat penulis selesaikan. Maka dari itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Djoni Simanta selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis hingga dapat diselesaikannya tesis ini.
2. Bapak Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan segala masukan dan saran dalam penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen penguji yang telah memberikan segala masukan dan saran dalam penyelesaian tesis ini.
4. Seluruh dosen di Magister Teknik Sipil Unpar yang telah memberikan banyak ilmu dan dukungan selama masa perkuliahan.
5. Kedua orang tua dan kedua kakak penulis yang telah memberikan banyak doa, motivasi, dukungan, dan saran bagi penulis selama penulisan tesis.

6. Jovanca, atas kasih sayang dan cinta yang selalu diberikan, serta tiap hari menemani dan membantu penulis dengan memberikan banyak doa, motivasi, dukungan, dan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
7. Sonatha, Alvianti, dan Stefanus, sebagai teman seperjuangan dan sepenenderitaan selama perkuliahan di Unpar.
8. Ibu Grace selaku direktur PT. Konsultan Prama Cipta di mana penulis bekerja, yang bersedia untuk memberikan penulis waktu untuk penyusunan tesis ini.
9. Rekan-rekan kantor yang telah menyemangati penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
10. Berbagai pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis dalam penyusunan tesis ini baik secara langsung ataupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 9 Desember 2018

Jeremy Budiono  
2016831040

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xxv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xxxi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	3
1.3 Tujuan Penulisan	4
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Metode Penelitian	6
1.6 Sistematika Penulisan	6
<b>BAB 2 STUDI PUSTAKA</b>	<b>9</b>
2.1 Pendahuluan	9
2.2 Ketentuan Khusus Seismik Struktur Baja berdasarkan AISC 341-16	13



2.3 Sambungan Seismik Kolom HSS-Balok IWF	31
2.4 Konsep Desain Sambungan Diafragma Menerus Berdasarkan AII Recommendation for Design of Connections in Steel Structures	41
<b>BAB 3 PEMODELAN ELEMEN HINGGA NONLINIER DENGAN ANSYS WORKBENCH</b>	<b>55</b>
3.1 Sistem Analisis dalam Program ANSYS <i>Workbench</i>	55
3.2 Nonlinieritas dalam Elemen Hingga	58
3.3 Pemodelan dengan ANSYS <i>Workbench</i>	60
3.4 Solusi Analisis Nonlinier dengan ANSYS <i>Workbench</i>	79
<b>BAB 4 VERIFIKASI MODEL ELEMEN HINGGA</b>	<b>87</b>
4.1 Perilaku Sambungan Terhadap Beban Siklik	87
4.2 Model Uji Eksperimental	90
4.3 Model Elemen Hingga	95
4.4 Model Kalibrasi Elemen Hingga	105
4.5 Protokol Pembebanan untuk Studi Kasus	128
<b>BAB 5 STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN</b>	<b>131</b>
5.1 Data Pemodelan	131
5.2 Pengaruh Beban Biaksial pada Perilaku Sambungan	133
5.3 Pengaruh Perkuatan Kolom dan Panel pada Perilaku Sambungan	156
5.4 Rekapitan Tinjauan Studi Kasus	186

5.5 Rekomendasi Prosedur Desain	190
<b>BAB 6 PENUTUP</b>	<b>211</b>
6.1 Simpulan	211
6.2 Saran	213
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>215</b>



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

### Daftar Notasi

- a = tebal efektif las sudut, bila  $\phi = 90^\circ$  maka  $a = 0.7 S$
- a = jarak dari flens ke ujung kolom (mm)
- A = luas kolom ( $\text{mm}^2$ )
- $A_c$  = luas dari beton pada kolom ( $\text{mm}^2$ )
- $A_f$  = luas flens balok ( $\text{mm}^2$ )
- $A_f$  = luas flens kolom ( $\text{mm}^2$ )
- $A_g$  = luas penampang bruto kolom ( $\text{mm}^2$ )
- $A_g$  = luas bruto dari penampang HSS ( $\text{mm}^2$ )
- $A_g$  = luas bruto kolom ( $\text{mm}^2$ )
- $A_s$  = luas dari baja pada kolom ( $\text{mm}^2$ )
- $A_w$  = luas web kolom ( $\text{mm}^2$ )
- b = jarak dari flens ke ujung kolom sisi kanan (mm), di mana jika flens terletak pada as yang sama dengan kolom, maka  $a = b$ .
- $b_c$  = lebar kolom (mm)
- $b_{ep}$  = lebar efektif pelat tersambung (mm)
- B = lebar bersih profil HSS (mm)
- c = beban kombinasi geser dan tarik pada las sudut (N/mm)
- c =  $b_{fb}$  = lebar flens balok (mm)
- $d^*$  = jarak antara as dari flens balok (mm)
- $d_b$  = jarak antara as dari flens balok (mm)
- $d_b$  = jarak antara as dari tebal flens (m)

$d_b$	= jarak antara as flens balok (mm)
$d_c$	= jarak antara as flens kolom (mm)
$d_z$	= $d - 2t_f$ dari balok yang lebih tinggi pada sambungan (mm)
$E$	= modulus elastisitas (MPa)
$E_D$	= energi disipasi pada satu siklus
$E_s$	= modulus elastisitas
$E_{S0}$	= energi regangan, di mana diambil berdasarkan luasan yang ditutup oleh kekakuan sekan pada deformasi suatu siklus.
$F_{by}$	= tegangan leleh balok (MPa)
$f'_c$	= kuat tekan beton silinder (MPa)
$F_c$	= tegangan leleh pada HSS, di mana untuk LRFD sebesar $F_y$ (MPa)
$F_{cy}$	= tegangan leleh kolom (MPa)
$F_{EXX}$	= kekuatan las pengisi yang terklasifikasi (MPa)
$F_{fu}$	= tegangan ultimit dari flens balok (MPa)
$F_u$	= tegangan minimum tarik (putus) penampang
$F_u$	= tegangan ultimit (MPa)
$F_y$	= tegangan leleh minimum penampang
$F_y$	= tegangan leleh (MPa)
$F_y$	= kuat leleh dari material zona panel (MPa)
$F_{yb}$	= tegangan leleh minimum balok (MPa)
$F_{yc}$	= tegangan leleh minimum kolom (MPa)
$F_{yc}$	= kekuatan leleh kolom HSS (MPa)
$H$	= tinggi kolom HSS (MPa)
$H_l$	= tinggi dari lantai di bawah nodal (mm)

- $H_u$  = tinggi dari lantai di atas nodal (mm)
- $k$  = radius luar dari HSS  $\geq 1.5 t_c$  (mm)
- $L$  =  $t_{fb}$  = tebal flens balok (mm)
- $L_b$  = jarak maksimum antar pengaku lateral
- $L_e$  = panjang las efektif (mm)
- $L_h$  = jarak antara lokasi sendi plastis
- $m$  = kekuatan lentur tanpa dimensi dari sambungan web balok, di mana untuk profil HSS dapat diambil dengan rumus berikut ini.
- $M_{pc}^*$  = kuat lentur plastis kolom ke dalam bidang dari rangka yang dipertimbangkan (N-mm)
- $M_{pcl}^*$  = momen plastis nominal dari kolom di bawah nodal, pada sumbu yang mempertimbangkan beban aksial simultan dan sumbu tegak lurus nya (N-mm)
- $M_{pcu}^*$  = momen plastis nominal dari kolom di atas nodal, pada sumbu yang mempertimbangkan beban aksial simultan dan sumbu tegak lurus nya (N-mm)
- $M_b$  = momen plastis pada ujung balok (kN.m)
- $M_{b,p}$  = momen plastis balok ( $Z_p F_y$ ) (N-mm)
- $M_{bL}$  = momen lentur ujung balok pada sisi kiri panel (kN.m)
- $M_{bR}$  = momen lentur ujung balok pada sisi kanan panel (kN.m)
- $M_f$  = momen maksimum yang dapat terjadi pada muka kolom (N-mm)
- $M_{j,u}$  = kuat lentur maksimum sambungan (N-mm)
- $M_{j,fu}$  = kuat lentur maksimum flens balok (kN.m)
- $M_{j,wu}$  = kuat lentur maksimum web balok (kN.m)

- $M_{pr}$  = momen maksimum yang dapat terjadi pada sendi plastis sesuai persamaan 2.3 (N-mm)
- $M_{ro}$  = kekuatan lentur perlu HSS, dapat digunakan  $M_u$  untuk LRFD (N.mm)
- $M_v$  = momen tambahan akibat amplifikasi geser pada lokasi sendi plastis ke as kolom sesuai kombinasi pembebanan (N-mm)
- $M_y$  = kuat lentur arah keluar bidang dari rangka pada kolom yang memperhitungkan seluruh kemungkinan leleh balok yang dapat berkontribusi pada momen yang diaplikasikan (N-mm).
- $n$  = rasio gaya aksial rata-rata pada zona panel
- $n$  = faktor plastisitas
- $P$  = beban aksial pada kolom diberikan
- $P_c$  = kekuatan aksial tekan perlu kolom termasuk beban seismik teramplifikasi (N)
- $P_f$  = kekuatan yang diperlukan pada muka kolom untuk moda kegagalan lokal pada kolom (N)
- $P_r$  = kekuatan aksial tekan perlu kolom termasuk beban seismik teramplifikasi (N)
- $P_{ro}$  = kekuatan tekan perlu HSS, dapat digunakan  $P_u$  untuk LRFD (N)
- $P_u$  = beban aksial pada kolom pada bagian yang dipertimbangkan akibat kombinasi beban, tanpa perlu mempertimbangkan beban seismik teramplifikasi (N).
- $Q_{cL}$  = gaya geser kolom pada sisi bawah panel (kN.m)
- $Q_{cU}$  = gaya geser kolom pada sisi atas panel (kN.m)
- $Q_f$  = 1 untuk permukaan sambung HSS dengan beban tarik

	$1.0 - 0.3U (1+U)$ untuk permukaan sambung HSS dengan beban tekan
$r_y$	= radius girasi penampang terhadap sumbu
$R_n$	= kekuatan nominal
$R_{ref}$	= nilai acuan, <i>default</i> = 0.01 untuk permasalahan struktur
$R_y$	= rasio dari tegangan leleh efektif terhadap tegangan leleh minimum seperti pada tabel 2.1
$S$	= ukuran las sudut
$S$	= modulus penampang elastis pada sumbu lentur ( $\text{mm}^3$ )
$t$	= tebal dari web kolom atau pelat pengganda (mm)
$t$	= tebal nominal profil HSS untuk A1085 untuk ERW dan SAW, atau sebesar 0.93 t nominal untuk A500 untuk ERW (mm)
$T$	= $d_c$ = lebar kolom (mm)
$t_c$	= tebal kolom HSS (mm)
$t_{fb}$	= tebal flens balok WF (mm)
$t_{wb}$	= tebal web balok (mm)
$V_e$	= volume efektif zona panel
$V_{gravity}$	= gaya dalam lintang akibat kombinasi pembebanan gravitasi ( $1.2 D + 0.5 L$ )
$w_q$	= kuat las per unit panjang
$w_z$	= lebar dari zona panel diantara flens kolom (mm)
$Z_b$	= modulus plastis balok ( $\text{mm}^3$ )
$Z_c$	= modulus plastis kolom pada sumbu yang melentur ( $\text{mm}^3$ )
$Z_c$	= modulus plastis kolom pada kedua sumbu ( $\text{mm}^3$ )



- $Z_c$  = modulus plastis kolom ( $\text{mm}^3$ )
- $Z_e$  = modulus plastis efektif penampang pada lokasi sendi plastis
- $Z_{wpe}$  = modulus plastis dari penampang efektif web balok dengan mempertimbangkan *weld access hole/scallop*. Besaran ini dapat menggunakan rumus berikut ini.
- $Z_x$  = modulus plastis kolom pada arah ke dalam bidang dari rangka ( $\text{mm}^3$ )
- $Z_y$  = modulus plastis kolom pada arah ke luar bidang dari rangka ( $\text{mm}^3$ )
- $\alpha$  = koefisien sambungan balok. Tanpa pertimbangan spesifik, maka nilai ini dapat diambil sebesar pada tabel 2.3 berikut ini. Koefisien ini adalah memperhitungkan efek dari strain hardening ( $\xi$ ) dan strength randomness ( $\beta$ ) dari suatu material.
- $\alpha_n$  = koefisien reduksi akibat gaya aksial pada panel
- $\alpha_s$  = 1.0 untuk LRFD dan 1.5 untuk ASD
- $\epsilon$  = regangan total
- $\epsilon_r$  = elongasi / regangan putus
- $\epsilon_r$  = nilai toleransi
- $\epsilon_{us}$  = regangan plastis seragam
- $\theta$  = sudut dari las sudut pada arah beban
- $\theta$  = sudut yang terbentuk antara beban aksi dan sumbu longitudinal las
- $\kappa$  = faktor bentuk untuk geser
- $\lambda_{hd}$  = batas lebar per ketebalan daktilitas tinggi
- $\lambda_{md}$  = batas lebar per ketebalan daktilitas sedang
- $\lambda_p$  = batas lebar per ketebalan kompak dan non-kompak
- $\xi_{eq}$  = equivalent viscous damping (EQVD)

- $\sigma$  = tegangan total (MPa)
- $\sum M_{pc}^*$  = jumlah momen kapasitas pada kolom atas dan bawah dengan reduksi gaya aksial pada kolom
- $\sum M_{pb}^*$  = jumlah momen kapasitas pada balok-balok pada lokasi terjadinya sendi plastis
- $\tau_{dy}$  = tegangan geser leleh
- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan
- $\varphi$  = sudut antara pelat yang disambung
- [C] = matriks redaman
- {D} = vektor peralihan
- { $\dot{D}$ }
- = vektor kecepatan
- { $\ddot{D}$ }
- = vektor percepatan
- {F} = vektor beban eksternal
- {F<sup>a</sup>}
- = vektor dari beban yang diaplikasikan
- {F<sub>n</sub><sup>a</sup>}
- = vektor beban total yang diaplikasikan pada time step ke-n
- {F<sub>n,i</sub><sup>nr</sup>}
- = vektor beban yang ditimbulkan oleh gaya dalam
- [K] = matriks kekakuan
- [K<sub>n,i</sub>]
- = matriks tangensial untuk tiap
- time step*
- ke-n, dengan iterasi ke-i
- [M] = matriks massa
- {R}
- = vektor residual yang dengan ||.|| menjadi besaran skalar
- {u}
- = vektor dari DOF yang tidak diketahui

### Daftar Singkatan

- AIJ = Architectural Institute of Japan

AISC	=	American of Steel Construction
ANSYS	=	Analysis System
APDL	=	ANSYS Parametric Design Language
ASCE	=	American Society of Civil Engineers
ASTM	=	American Society for Testing and Material (ASTM International)
AWS	=	American Welding Society
B	=	basic atau kolom sesuai model dasar
C	=	seluruh kolom dipertebal $> \lambda_{hd}$
CCB	=	Collar Corner Bottom (ConXL)
CCM	=	Collar Corner Middle (ConXL)
CCT	=	Collar Corner Top (ConXL)
CEN	=	European Committee for Standardization
CHS	=	Circular Hollow Section
CIDECT	=	International Committee for the Development and Study of Tubular Structures
C-IMF	=	Composite Intermediate Moment Frame
CJP	=	Complete-Joint Penetration
CPRP	=	Connection Prequalification Review Panel
CSA	=	Canadian Standards Specification
C-SMF	=	Composite Special Moment Frame
DOF	=	Degree-of-Freedom
ED	=	Energi disipasi
EQVD	=	Equivalent Viscous Damping
ERW	=	Electrode Resistant Welding

ESW	=	Electro Slag Welding
EW	=	East-to-West
HSS	=	Hollow Structural Section
HTB	=	High-Strength Bolt
IMF	=	Intermediate Moment Frame
IMF	=	Intermediate Moment Frame
JASS	=	Japanese Architectural Standard Specification
JIS	=	Japanese Industrial Standards
M	=	bagian tengah kolom atau zona panel dipertebal $> \lambda_{hd}$
NS	=	North-to-South
PCG	=	Preconditioned Conjugate Gradient
PJP	=	Partial-Joint Penetration
QDA	=	Qualifying Drift Angle
RHS	=	Rectangular Hollow Section
S	=	beban diberikan secara simetris
SAW	=	Submerged Arc Welding
SC/WB	=	Strong Column-Weak Beam
SEI	=	Structural Engineering Institute
SHS	=	Square Hollow Section
SMF	=	Special Moment Frame
SRPMK	=	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SRPMM	=	Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
TMCP	=	Thermo-Mechanical Control Process
U	=	beban diberikan secara tidak simetris

ULS = Ultimate Limit State

WF = Wide Flange

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1.1</b> Diagram Alir	8
<b>Gambar 2.1</b> Putaran sudut pengujian tipikal untuk bentang eksterior (FEMA 350, 2000)	20
<b>Gambar 2.2</b> Perhitungan Momen Kapasitas Kolom (Simanta 2017)	24
<b>Gambar 2.3</b> Perhitungan Momen Kapasitas Balok (Simanta 2017)	25
<b>Gambar 2.4</b> Parameter b dan t untuk profil HSS (McCormick 2014)	25
<b>Gambar 2.5</b> Permukaan leleh linier untuk lentur biaksial (AISC 341-16 Commentary)	31
<b>Gambar 2.6</b> Sistem sambungan momen ConXL (AISC 358-16)	32
<b>Gambar 2.7</b> Bagian dari <i>collar assembly</i> (AISC 358-16)	33
<b>Gambar 2.8</b> Sistem sambungan momen SidePlate <sup>®</sup> (AISC 358-16)	35
<b>Gambar 2.9</b> Aplikasi <i>shop-welding</i> pada sambungan diafragma menerus (CIDECT 2004)	36
<b>Gambar 2.10</b> Perbedaan <i>detailing</i> pada <i>shop</i> dan <i>field-welding</i> (Kurobane et al. 2002)	37
<b>Gambar 2.11</b> Pemotongan ujung balok tanpa <i>weld access hole</i> (Kurobane et al. 2002)	37
<b>Gambar 2.12</b> Sambungan pelat diafragma internal pada HSS yang dibentuk secara ERW	38

<b>Gambar 2.13</b> Pelat diafragma internal pada HSS yang dibentuk secara SAW (CIDECT 2004)	38
<b>Gambar 2.14</b> Sambungan menggunakan pelat diafragma eksternal (Kurobane et al. 2002)	40
<b>Gambar 2.15</b> Sambungan menggunakan skema tanpa pelat diafragma (Shiiba et al. 2013)	41
<b>Gambar 2.16</b> Parameter pada sambungan diafragma menerus (AIJ Recommendation 2012)	45
<b>Gambar 2.17</b> Transfer gaya sambungan geser menggunakan baut (AIJ Recommendation 2012)	47
<b>Gambar 2.18</b> Parameter untuk perhitungan kuat las (AIJ Recommendation 2012)	48
<b>Gambar 2.19</b> Kombinasi beban tarik dan geser (AIJ Recommendation 2012)	48
<b>Gambar 2.20</b> Arah sudut pada kombinasi beban tarik dan geser (AIJ Recommendation 2012)	48
<b>Gambar 2.21</b> Konfigurasi gaya dan parameter pada panel (AIJ Recommendation 2012)	49
<b>Gambar 2.22</b> Mekanisme kegagalan pada zona panel (CIDECT 2004)	50
<b>Gambar 2.23</b> Tipe-tipe <i>scallop</i> yang dapat digunakan (AIJ Recommendation 2012)	53
<b>Gambar 2.24</b> Tipe-tipe <i>improved scallop</i> (AIJ Recommendation 2012)	54
<b>Gambar 3.1</b> Sistem Analisis ANSYS <i>Workbench</i>	56

<b>Gambar 3.2</b> Hubungan Gaya-Peralihan (ANSYS Documentations)	59
<b>Gambar 3.3</b> Opsi <i>input</i> pada sistem analisis <i>Static Structural</i>	60
<b>Gambar 3.4</b> Skema pemodelan <i>geometric imperfection</i> pada ANSYS Workbench	62
<b>Gambar 3.5</b> Perbedaan antara <i>kinematic</i> dan <i>isotropic hardening</i> (ANSYS Documentations)	63
<b>Gambar 3.6</b> Opsi <i>nonlinear effects</i> pada ANSYS Mechanical	64
<b>Gambar 3.7</b> Tipe Elemen dan Kemungkinan DOF (Kindmann et al. 2011)	66
<b>Gambar 3.8</b> Opsi <i>Large Deflection</i>	67
<b>Gambar 3.9</b> Elemen SOLID186 (ANSYS Documentations)	68
<b>Gambar 3.10</b> Pengecekan kualitas <i>mesh</i> dengan <i>Aggressive Mechanical</i>	69
<b>Gambar 3.11</b> Kemungkinan penetrasi pada kontak asimetris	73
<b>Gambar 3.12</b> Skema kondisi batas dan pembebanan	74
<b>Gambar 3.13</b> Moda tekuk yang disuperposisikan pada balok	76
<b>Gambar 3.14</b> Moda tekuk yang disuperposisikan pada kolom	77
<b>Gambar 3.15</b> <i>Command upgeom</i> yang digunakan untuk balok	78
<b>Gambar 3.16</b> <i>Command upgeom</i> yang digunakan untuk kolom	78
<b>Gambar 3.17</b> Hasil <i>upgeom</i> (dengan skala 20x lipat)	79
<b>Gambar 3.18</b> Prosedur metode Newton-Raphson (ANSYS Documentations)	81
<b>Gambar 3.19</b> Opsi metode analisis <i>Newton-Raphson</i>	82



<b>Gambar 3.20</b> Opsi <i>stabilization</i>	83
<b>Gambar 3.21</b> Pemilihan tipe solver	84
<b>Gambar 3.22</b> Opsi <i>chart</i> dalam ANSYS <i>Mechanical</i>	85
<b>Gambar 3.23</b> Opsi yang digunakan pada <i>Chart</i>	85
<b>Gambar 4.1</b> Definisi kekakuan sekan (Sullivan 2004)	88
<b>Gambar 4.2</b> Energi disipasi dan regangan untuk <i>equivalent viscous damping</i> (Blandon 2004)	89
<b>Gambar 4.3</b> Perbandingan dengan pengujian sebelumnya (Yamazaki et al. 2010)	91
<b>Gambar 4.4</b> Dimensi benda uji eksperimental (Yamazaki et al. 2010)	91
<b>Gambar 4.5</b> Detail Benda Uji Eksperimental (Yamazaki et al. 2010)	91
<b>Gambar 4.6</b> Penentuan nilai $\theta_p$ (Yamazaki et al. 2010)	93
<b>Gambar 4.7</b> <i>Loading protocol</i> model eksperimental (Yamazaki et al. 2010)	93
<b>Gambar 4.8</b> Besar nilai $\theta$ aktual (Yamazaki et al. 2010)	94
<b>Gambar 4.9</b> Histeresis dari hasil uji eksperimental (Yamazaki et al. 2010)	95
<b>Gambar 4.10</b> Kondisi akhir dari uji eksperimental (Yamazaki et al. 2010)	95
<b>Gambar 4.11</b> Kurva tegangan-regangan perbandingan tiap material Ramberg- Osgood	101
<b>Gambar 4.12</b> Pemilihan model material pada model elemen hingga	101
<b>Gambar 4.13</b> Perbandingan kurva tegangan-regangan SN490 Flens	102
<b>Gambar 4.14</b> Perbandingan kurva tegangan-regangan SN490 Web	102

<b>Gambar 4.15</b> Perbandingan kurva tegangan-regangan BCR295 kolom	102
<b>Gambar 4.16</b> Protokol pembebanan model kalibrasi, untuk $l_b = 3075$ mm	103
<b>Gambar 4.17</b> Model <i>mesh</i> detail pada sambungan	104
<b>Gambar 4.18</b> Model <i>meshing</i> dan titik acuan pada model	105
<b>Gambar 4.19</b> Perbandingan histeresis model kalibrasi dengan model eksperimental	106
<b>Gambar 4.20</b> Perbandingan kekakuan terhadap <i>geometry imperfection</i>	109
<b>Gambar 4.21</b> Perbandingan disipasi energi terhadap <i>geometry imperfection</i>	109
<b>Gambar 4.22</b> Perbandingan <i>equivalent viscous damping</i> terhadap <i>geometry imperfection</i>	109
<b>Gambar 4.23</b> Perbandingan kontur tegangan Von Mises dan regangan total terhadap model dengan dan tanpa <i>geometry imperfection</i>	110
<b>Gambar 4.24</b> Perbandingan kekakuan antara model kalibrasi sistem	113
<b>Gambar 4.25</b> Perbandingan disipasi energi antara model kalibrasi sistem	113
<b>Gambar 4.26</b> Perbandingan <i>Equivalent viscous damping</i> antara model kalibrasi sistem	114
<b>Gambar 4.27</b> Kontur tegangan Von Mises dan regangan Total Model B	114
<b>Gambar 4.28</b> <i>Slip</i> yang terjadi antara pelat luasan tambahan dengan pelat pembeban	115
<b>Gambar 4.29</b> Perbandingan kekakuan antara model kalibrasi kontak	118
<b>Gambar 4.30</b> Perbandingan disipasi energi antara model kalibrasi kontak	118

<b>Gambar 4.31</b> Perbandingan <i>equivalent viscous damping</i> antara model kalibrasi kontak	118
<b>Gambar 4.32</b> Kontur tegangan Von Mises dan regangan Total Model B-R	119
<b>Gambar 4.33</b> Perbandingan kekakuan antara model kalibrasi material	122
<b>Gambar 4.34</b> Perbandingan disipasi energi antara model kalibrasi material	122
<b>Gambar 4.35</b> Perbandingan <i>equivalent viscous damping</i> antara model kalibrasi material	122
<b>Gambar 4.36</b> Perbandingan kontur tegangan Von Mises dan regangan total antara model kalibrasi material	123
<b>Gambar 4.37</b> Perbandingan tekuk torsi lateral model elemen hingga dan eksperimental	127
<b>Gambar 4.38</b> Perbandingan tekuk lokal model elemen hingga dan eksperimental	127
<b>Gambar 4.39</b> Protokol pembebanan siklik berdasarkan AISC 341-16	128
<b>Gambar 5.1</b> Konfigurasi kondisi batas dan sistem pada sambungan dengan beban biaksial	131
<b>Gambar 5.2</b> Detail <i>meshing</i> pada konfigurasi sistem biaksial	133
<b>Gambar 5.3</b> Perbandingan sistem sambungan terhadap beban aksial	134
<b>Gambar 5.4</b> Perbandingan histeresis antara sambungan planar dan biaksial	134
<b>Gambar 5.5</b> Perbandingan momen ultimit seluruh model bagian 1	139
<b>Gambar 5.6</b> Perbandingan kekakuan tiap siklus model 1-B dan 1-BP	141

<b>Gambar 5.7</b> Perbandingan kekakuan seluruh model bagian 1	144
<b>Gambar 5.8</b> Perbandingan disipasi energi seluruh model bagian 1	149
<b>Gambar 5.9</b> Perbandingan <i>equivalent viscous damping</i> seluruh model bagian 1	151
<b>Gambar 5.10</b> Distribusi tegangan Von Mises yang terjadi pada seluruh model bagian 1 pada akhir step pembebanan	153
<b>Gambar 5.11</b> Distribusi tegangan model simetris 30% dan 100% pada step 20155	155
<b>Gambar 5.12</b> Perbandingan histeresis seluruh model dengan perkuatan panel dan kolom	156
<b>Gambar 5.13</b> Perbandingan momen ultimit seluruh model bagian 1	164
<b>Gambar 5.14</b> Perbandingan kekakuan model 1-B, 1-M dan 1-C	165
<b>Gambar 5.15</b> Perbandingan kekakuan model 1-BP, 1-MP dan 1-CP	166
<b>Gambar 5.16</b> Perbandingan kekakuan model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-S)	168
<b>Gambar 5.17</b> Perbandingan kekakuan model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-SP)	170
<b>Gambar 5.18</b> Perbandingan disipasi energi model 1-B, 1-M dan 1-C	173
<b>Gambar 5.19</b> Perbandingan disipasi energi model 1-BP, 1-MP dan 1-CP	175
<b>Gambar 5.20</b> Perbandingan disipasi energi model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-S)	178
<b>Gambar 5.21</b> Perbandingan disipasi energi model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-SP)	181

<b>Gambar 5.22</b> Distribusi tegangan Von Mises yang terjadi pada seluruh model bagian 2 pada akhir step pembebanan	184
<b>Gambar 5.22</b> Distribusi tegangan Von Mises yang terjadi pada seluruh model bagian 2 pada akhir step pembebanan (lanjutan)	185
<b>Gambar 5.23</b> Pengaruh beban biaksial pada sambungan	187
<b>Gambar 5.24</b> Pengaruh beban biaksial pada sambungan dengan kolom dan panel yang diperkuat	188
<b>Gambar 5.25</b> Parameter <i>yield line</i> perumusan 5.20 (Manual of Steel Construction 15 <sup>th</sup> Ed)	200
<b>Gambar 5.26</b> Faktor reduksi berdasarkan parameter lainnya	206
<b>Gambar 5.27</b> Kondisi tegangan leleh Von Mises kolom pada beban $M_{pr}$	209

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Nilai $R_y$ dan $R_t$ untuk Berbagai Material Baja dan Tulangan Baja (AISC 341-16)	16
<b>Tabel 2.2</b> Standar Material Baja (Steel Grades American Standards)	17
<b>Tabel 2.3</b> Batasan rasio b/t untuk HSS (Steel Tube Institute 2018, AISC 341-16, AISC 360-16)	29
<b>Tabel 2.4</b> Koefisien sambungan balok (AIJ Recommendation 2012)	42
<b>Tabel 2.5</b> Klasifikasi struktur (Sato 2017)	43
<b>Tabel 2.6</b> Klasifikasi balok WF (Sato 2017)	43
<b>Tabel 2.7</b> Klasifikasi kolom HSS untuk SN400 dan SN490 (Sato 2017)	43
<b>Tabel 4.1</b> Data Material Uji Eksperimental (Yamazaki et al. 2010)	92
<b>Tabel 4.2</b> Data nilai momen plastis ujung balok yang digunakan (Yamazaki et al. 2010)	92
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan kekuatan terhadap <i>geometry imperfection</i>	108
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan kekakuan sistem terhadap <i>geometry imperfection</i>	108
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan disipasi energi terhadap <i>geometry imperfection</i>	108
<b>Tabel 4.6</b> Perbandingan kekuatan antara model kalibrasi sistem	112
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan kekakuan antara model kalibrasi sistem	112
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan disipasi energi antara model kalibrasi sistem	113

<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan kekuatan antara model kalibrasi kontak	117
<b>Tabel 4.10</b> Perbandingan kekakuan antara model kalibrasi kontak	117
<b>Tabel 4.11</b> Perbandingan disipasi energi antara model kalibrasi kontak	117
<b>Tabel 4.12</b> Perbandingan kekuatan antara model kalibrasi material	121
<b>Tabel 4.13</b> Perbandingan kekakuan antara model kalibrasi material	121
<b>Tabel 4.14</b> Perbandingan disipasi energi antara model kalibrasi material	121
<b>Tabel 4.15</b> Seluruh model bagian 1	129
<b>Tabel 4.16</b> Seluruh model bagian 2	130
<b>Tabel 5.1</b> Perbandingan kekuatan model planar akibat pengaruh beban aksial	135
<b>Tabel 5.2</b> Perbandingan kekuatan model planar dan biaksial simetris tanpa beban aksial	137
<b>Tabel 5.3</b> Perbandingan kekuatan model planar dan biaksial simetris dengan beban aksial	138
<b>Tabel 5.4</b> Perbandingan kekakuan model planar akibat pengaruh beban aksial	140
<b>Tabel 5.5</b> Perbandingan kekakuan model planar dan biaksial simetris tanpa beban aksial	142
<b>Tabel 5.6</b> Perbandingan kekuatan model planar dan biaksial simetris dengan beban aksial	143
<b>Tabel 5.7</b> Perbandingan disipasi energi model planar akibat pengaruh beban aksial	146

<b>Tabel 5.8</b> Perbandingan disipasi energi model planar dan biaksial simetris tanpa beban aksial	147
<b>Tabel 5.9</b> Perbandingan disipasi energi model planar dan biaksial simetris dengan beban aksial	148
<b>Tabel 5.10</b> Perbandingan kekuatan model 1-B, 1-M dan 1-C	157
<b>Tabel 5.11</b> Perbandingan kekuatan model 1-BP, 1-MP dan 1-CP	158
<b>Tabel 5.12</b> Pengaruh beban aksial pada kekuatan model dasar dan perkuatan	159
<b>Tabel 5.13</b> Perbandingan kekuatan model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-S)	160
<b>Tabel 5.14</b> Pengaruh beban biaksial pada kekuatan model dasar dan perkuatan tanpa beban aksial	161
<b>Tabel 5.15</b> Perbandingan kekuatan model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-SP)	162
<b>Tabel 5.16</b> Pengaruh beban biaksial pada kekuatan model dasar dan perkuatan dengan beban aksial	163
<b>Tabel 5.17</b> Perbandingan kekakuan model 1-B, 1-M dan 1-C	165
<b>Tabel 5.18</b> Perbandingan kekakuan model 1-BP, 1-MP dan 1-CP	166
<b>Tabel 5.19</b> Pengaruh beban aksial pada kekakuan model dasar dan perkuatan	167
<b>Tabel 5.20</b> Perbandingan kekakuan model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-S)	168
<b>Tabel 5.21</b> Pengaruh beban biaksial pada kekakuan model dasar dan perkuatan tanpa beban aksial	169
<b>Tabel 5.22</b> Perbandingan kekakuan model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-SP)	170



<b>Tabel 5.23</b> Pengaruh beban biaksial pada kekakuan model dasar dan perkuatan dengan beban aksial	171
<b>Tabel 5.24</b> Perbandingan disipasi energi model 1-B, 1-M dan 1-C	172
<b>Tabel 5.25</b> Perbandingan disipasi energi model 1-BP, 1-MP dan 1-CP	174
<b>Tabel 5.26</b> Pengaruh beban aksial pada disipasi energi model dasar dan perkuatan	176
<b>Tabel 5.27</b> Perbandingan disipasi energi model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-S)	177
<b>Tabel 5.28</b> Pengaruh beban biaksial pada disipasi energi model dasar dan perkuatan tanpa beban aksial	179
<b>Tabel 5.29</b> Perbandingan disipasi energi model 2-B, 2-M, dan 2-C (100%-SP)	180
<b>Tabel 5.30</b> Pengaruh beban biaksial pada disipasi energi model dasar dan perkuatan dengan beban aksial	182
<b>Tabel 5.31</b> Rekap kondisi sambungan berdasarkan perhitungan AISC dan FEM	191
<b>Tabel 5.32</b> Rekap perhitungan kekuatan sambungan berdasarkan AIJ <i>Recommendation</i>	192
<b>Tabel 5.33</b> Rekap kondisi sambungan berdasarkan perhitungan AISC dan FEM ( $C_{pr} = 1.1$ )	193
<b>Tabel 5.34</b> Rekap perhitungan kekuatan sambungan berdasarkan rekomendasi prosedur desain	206

<b>Tabel 5.35</b> Rekap perhitungan kondisi sambungan berdasarkan rekomendasi prosedur desain dengan material spesifikasi minimum	210
--	-----

<b>Tabel 5.36</b> Rekap perhitungan kekuatan sambungan berdasarkan rekomendasi prosedur desain dengan material spesifikasi minimum	210
---	-----



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
<b>Lampiran 1</b> Batasan Lebar per Ketebalan Penampang AISC 341-16	219
<b>Lampiran 2</b> Data Kurva Tegangan-Regangan	223
<b>Lampiran 3</b> Sampel Perhitungan Kekuatan Sambungan Diafragma Menerus (AIJ 2012 dan AISC 2016)	231
<b>Lampiran 4</b> Sampel Perhitungan Kekuatan, Kekakuan, dan Disipasi Energi dari Histeresis	265

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Struktur baja rangka momen sebagai sistem penahan gaya lateral gempa banyak digunakan untuk struktur bertingkat rendah hingga menengah. Sistem ini mendistribusikan gaya lateral gempa melalui rangka dan sambungannya secara menerus, menuntut sistem ini memiliki daktilitas dan kekuatan yang cukup pada sambungannya. Gempa Northridge (1994) dan Kobe (1995) menunjukkan bahwa sambungan baja pada saat itu bersifat tidak daktil, sehingga dapat menyebabkan keruntuhan bangunan yang getas. Sejak saat itu, penelitian dan pengembangan sambungan baja telah dilakukan secara ekstensif di Amerika, kini menghasilkan standard American of Steel Construction (AISC) 360-16, AISC 341-16 (Seismic Provision) dan AISC 358-16 (Prequalified Connection).

Walaupun sambungan momen untuk gempa tinggi yang terprakualifikasi sudah tersedia dalam AISC 358, namun tidak ada sambungan yang secara langsung terfokus pada HSS. Tidak adanya sambungan momen menggunakan kolom HSS yang umum dalam AISC membuat penggunaan profil ini sangat terbatas khususnya untuk rangka momen di Amerika (Guglielmo 2016). Hal ini membuat terlewatnya kesempatan peningkatan kinerja pada profil lainnya yang potensial, seperti Hollow Structural Section (HSS) (Fadden 2013). Prakualifikasi sambungan yang dapat menggunakan kolom HSS yang telah dirumuskan pada AISC 358-16 menghasilkan 2 buah jenis sambungan, yaitu ConXtech<sup>®</sup> ConXL<sup>™</sup> dan SidePlate<sup>®</sup> untuk *Special Moment Frame* (SMF) dan *Intermediate Moment Frame* (IMF). Namun, kedua

jenis sambungan ini merupakan paten dan masih memiliki batasan spesifik, sehingga masih sulit untuk perancang secara luas menggunakan kedua jenis sambungan ini.

Indonesia memiliki standard peraturan baja yang berkiblat pada Amerika dalam SNI 1729:2015 (ekivalen AISC 360-10), SNI 7860:2015 (ekivalen AISC 341-10 *Seismic Provision*), dan SNI 7972:2015 (ekivalen AISC 358-10 *Prequalified Connection*). Maka dari itu, terbatasnya penggunaan profil HSS di Amerika, juga berdampak pada Indonesia. Berbanding terbalik dengan terbatasnya penggunaan profil HSS di Amerika, lebih dari 90% bangunan baja di Jepang menggunakan profil HSS (Kurobane 2002). Hal ini dikarenakan di Jepang sudah terdapat berbagai jenis sambungan umum yang dapat digunakan, yaitu dengan menggunakan pelat diafragma. Agar sambungan ini dapat diaplikasikan di Indonesia, maka sambungan dengan pelat diafragma ini perlu dievaluasi dalam lingkup peraturan SNI dan AISC.

Penggunaan kolom WF dalam aplikasi rangka momen penahan gempa yang digunakan oleh praktisi secara umum adalah dengan meminimalisir jumlah rangka gempa untuk mengurangi biaya. Berbeda dengan hal tersebut, keunggulan utama kolom HSS dalam aplikasi rangka momen penahan gempa adalah bahwa sistem dapat digunakan pada seluruh rangka, di mana seluruh sambungan dapat menahan momen. Pertambahan jumlah rangka penahan gempa dapat menambah keteguhan bangunan, distribusi rangka gempa yang lebih merata, dan peningkatan ketahanan terhadap keruntuhan progresif (Guglielmo 2016).

Dikarenakan oleh aplikasi kolom HSS adalah untuk rangka momen biaksial, maka evaluasi respons inelastik pada sambungan akibat beban siklik biaksial

diperlukan (Saneei 2013). Terdapat beberapa penelitian sambungan HSS yang sudah melibatkan efek biaksial dan tekan, namun kebanyakan penelitian masih menggunakan beban monotonik atau siklik yang tidak penuh. Maka dari itu, respons sambungan akibat beban siklik biaksial masih belum sepenuhnya dapat terlihat. Namun, pengujian eksperimental dengan beban siklik biaksial sulit dilakukan, terutama dikarenakan oleh kompleksitas dan keterbatasan peralatan, dan juga karena masih belum adanya protokol pembebanan yang representatif (Elkady 2017). Maka dari itu, studi ini akan mengevaluasi perilaku dari sambungan terhadap beban biaksial siklik penuh pada kedua baloknya, sesuai dengan protokol pembebanan yang dilakukan dalam eksperimental melalui model elemen hingga.

Solusi elemen hingga ini perlu dikalibrasi terhadap uji eksperimental aktual terlebih dahulu agar dapat keakuratannya dapat divalidasi. Dalam studi ini, kalibrasi program elemen hingga diambil dengan menggunakan model 1 dengan sambungan HSS dengan diafragma menerus hasil eksperimen Jepang yang dilakukan oleh Yamazaki, et al. (2010), dengan judul "Experimental Study on Comparison of Plastic Deformation Capacity of Steel Beam-to-Column Connections". Setelah kalibrasi program elemen hingga dilakukan, maka dapat dilakukan analisis yang lebih dalam, misalnya dengan mengaplikasikan beban biaksial pada sambungan. Namun, dikarenakan oleh keterbatasan waktu, aplikasi beban biaksial dalam tinjauan ini dibatasi hanya pada kolom *corner* saja.

## **1.2 Inti Permasalahan**

Aplikasi profil HSS dalam struktur baja penahan gempa menggunakan sistem rangka momen memiliki permasalahan pada terbatasnya sambungan yang terpraktualifikasi berdasarkan AISC 358. Standard baja di Indonesia yang berkiblat

pada AISC, perlu mempelajari opsi sambungan lain dalam menggunakan kolom HSS, seperti menggunakan pelat diafragma menerus. Karena keunggulan utama kolom HSS adalah dalam menahan beban lentur biaksial, maka diperlukan studi terhadap perilaku pada sambungan HSS yang dibebani secara biaksial. Namun, dikarenakan terdapat keterbatasan alat dan protokol pembebanan dalam melakukan pengujian sambungan dengan beban lentur biaksial, maka studi perilaku sambungan akan diwakili dengan menggunakan bantuan program elemen hingga yang terkalibrasi.

### **1.3 Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh model kalibrasi sambungan yang dapat digunakan untuk analisis yang lebih lanjut.
2. Memperoleh pengaruh beban lentur biaksial terhadap sambungan balok WF dengan kolom HSS menggunakan pelat diafragma menerus.
3. Memberikan rekomendasi prosedur desain untuk sambungan balok WF dengan kolom HSS menggunakan pelat diafragma menerus yang sesuai dengan persyaratan AISC 341-16 dan AISC 358-16.

### **1.4 Pembatasan Masalah**

Pembatasan masalah pada analisis yang dilakukan pada penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Sambungan yang ditinjau adalah menggunakan diafragma menerus pada kolom HSS dengan balok WF.



2. Model yang digunakan untuk mengkalibrasi model elemen hingga menggunakan hasil pengujian yang pernah dilakukan oleh Yamazaki et al. (2010). Model ini merupakan model sambungan kolom HSS-balok WF dengan diafragma menerus seperti gambar 4.1 dan 4.2.
3. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan *geometry imperfection*, sistem pembebanan, kontak, *stabilization*, dan material. Untuk kurva tegangan-regangan material yang digunakan adalah *engineering stress vs strain* untuk mengambil pada sisi yang aman. Untuk model *meshing* pada model, diambil dengan akurasi 4 potongan pada pelat diafragma dan flens balok, 3 potongan pada badan kolom, dan 2 potongan pada web balok, di mana dinilai akurasinya cukup baik dengan *running time* yang memadai.
4. Digunakan *geometry imperfection* dengan amplitudo sebesar batasan dari toleransi ketebalan profil berdasarkan JIS G3136 pada balok WF (=0.7 mm) dan ASTM A500 pada kolom HSS (=10% ketebalan).
5. Besar gaya aksial pada kolom yang diambil sebesar 40% kuat tekan leleh kolom. Nilai ini dinilai "substansial" (*Supplement No.1 AISC 358, 2017*).
6. Efek dari kombinasi pembebanan gravitasi diabaikan.
7. Kriteria *damage* dan fraktur pada model elemen hingga tidak digunakan.
8. Sistem sambungan akan dianalisis dengan menggunakan protokol pembebanan sesuai AISC 341, di mana beban biaksial didefinisikan dengan mengaplikasikan beban lentur pada kedua balok di *corner* dari suatu sistem struktur dengan beban siklik, seperti gambar 5.1. Besaran pembebanan yang digunakan adalah berdasarkan pada tabel 4.15 dan 4.16 terkait dengan pembagian tinjauan studi yang dilakukan.

## 1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian dalam penulisan tesis ini dilakukan dengan:

### 1. Studi Literatur

Pustaka yang digunakan adalah dapat berupa buku teks, *paper*, penelitian, dan peraturan-peraturan desain struktur. *Paper* yang digunakan sebagai acuan kalibrasi adalah "*Comparison Between Through Diaphragm Type Connection and Bolted Connection Type Connection*" oleh Yamazaki, et al., 2010.

### 2. Studi Analitis

Analisa yang dilakukan adalah menggunakan bantuan program elemen hingga ANSYS *Workbench*. Program elemen hingga ANSYS *Workbench* dikalibrasi terlebih dahulu dengan hasil penelitian Yamazaki et al. (2010). Setelah itu, model analitis akan dikembangkan terhadap beban lentur biaksial.

Untuk memperjelas lingkup penelitian, dapat dilihat diagram alir yang dilakukan dalam studi ini dalam gambar 1.1.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini disusun menjadi 6 bab sebagai berikut:

### 1. BAB 1 Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan, diagram alir, dan sistematika penulisan pada tesis ini.

## **2. BAB 2 Studi Pustaka**

Bab ini membahas tentang pustaka, dasar teori, serta persyaratan yang digunakan sebagai acuan dalam penulisan tesis ini.

## **3. BAB 3 Pemodelan Elemen Hingga dengan ANSYS Workbench**

Bab ini berisikan tentang metode dan analisis nonlinier menggunakan program elemen hingga ANSYS *Workbench*.

## **4. BAB 4 Verifikasi Model Elemen Hingga**

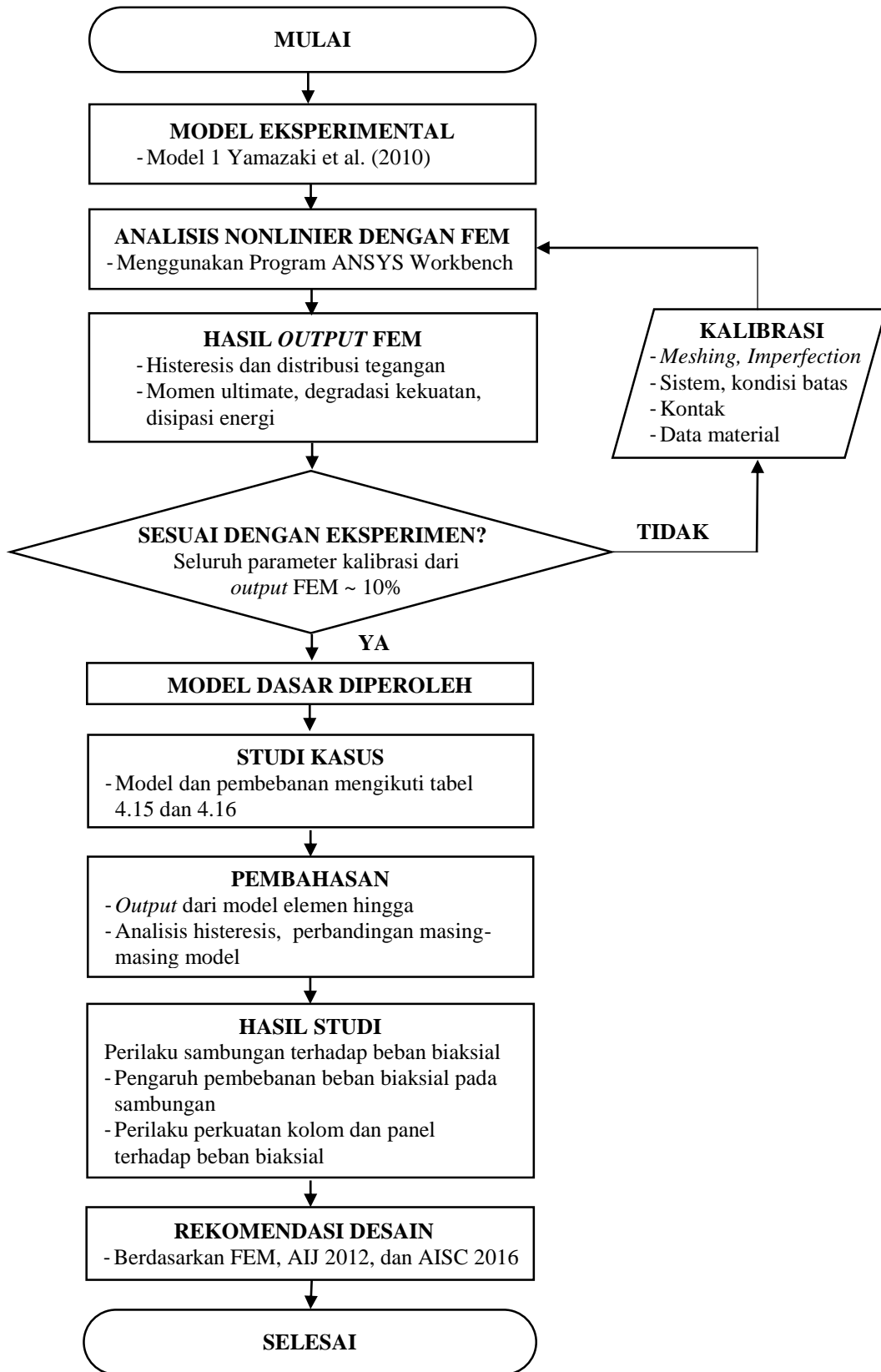
Bab ini berisikan tentang model eksperimental yang digunakan sebagai acuan dan proses verifikasi model elemen hingga dalam tesis ini.

## **5. BAB 5 Studi Kasus dan Pembahasan**

Bab ini berisikan data-data pemodelan, hasil *output* program elemen hingga, dan pembahasan dari hasil *output* tersebut dan perbandingannya. Selain itu juga diberikan rekomendasi prosedur desain berdasarkan dari hasil penelitian.

## **6. BAB 6 Penutup**

Bab ini berisikan simpulan dan saran dari penulisan tesis ini.



Gambar 1.1 Diagram Alir