

**SKRIPSI**

**STUDI PERILAKU SAMBUNGAN PENAMPANG  
BALOK TEREDUKSI (PBR) PADA  
KOLOM *CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR* (CFST)  
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**



**ALVIN SETIAWAN RAHARDJO  
NPM : 2017410188**

**PEMBIMBING: Helmy Hermawan Tjahjanto, 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  
FEBRUARI 2021**



**SKRIPSI**

**STUDI PERILAKU SAMBUNGAN PENAMPANG  
BALOK TEREDUKSI (PBR) PADA  
KOLOM *CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR* (CFST)  
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**



**ALVIN SETIAWAN RAHARDJO  
NPM : 2017410188**

**PEMBIMBING: Helmy Hermawan Tjahjanto, 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  
FEBRUARI 2021**



**SKRIPSI**

**STUDI PERILAKU SAMBUNGAN PENAMPANG  
BALOK TEREDUKSI (PBR) PADA  
KOLOM CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR (CFST)  
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**



**ALVIN SETIAWAN RAHARDJO  
NPM : 2017410188**

**BANDUNG, 9 FEBRUARI 2021**

**PEMBIMBING:**

**Helmy Hermawan Tjahjanto, 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  
FEBRUARI 2021**

## PERNYATAAN

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

Nama : Alvin Setiawan R.

NPM : 2017410188

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

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

**STUDI PERILAKU SAMBUNGAN PENAMPANG BALOK TEREDUKSI (PBR) PADA KOLOM CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR (CFST) 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: 25 Januari 2021



Alvin Setiawan R.

2017410188

\*) coret yang tidak perlu

# STUDI PERILAKU SAMBUNGAN PENAMPANG BALOK TEREDUKSI (PBR) PADA KOLOM CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR (CFST) DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Alvin Setiawan Rahardjo  
NPM: 2017410188

Pembimbing: Helmy Hermawan Tjahjanto, 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  
JANUARY 2021

## ABSTRAK

Penampang balok tereduksi (PBR) adalah salah satu jenis sambungan penahan momen terpraktualifikasi yang didesain untuk meningkatkan performa seismik struktur dengan menggeser lokasi terjadinya sendi plastis pada daerah dengan geometri tereduksi. Dalam sistem struktur penahan seismik rangka pemikul momen khusus komposit (RMK-K), sambungan momen penampang balok tereduksi dihubungkan dengan kolom komposit *concrete-filled steel tubular* (CFST) melalui diafragma eksternal. Tabung baja persegi pada kolom *concrete-filled steel tubular* memiliki perbedaan antara kekakuan tarik dan tekan. Kondisi tersebut mengakibatkan adanya pengaruh perilaku pada sendi plasits penampang balok tereduksi. Penelitian dengan memberikan peralihan sebesar sudut *story drift* 5% pada ujung bebas balok, meninjau perilaku non-linier sendi plastis dan elemen yang terhubung dari segi kekakuan rotasi balok, lokasi terjadinya sendi plastis, distribusi tegangan leleh, dan deformasi tabung baja persegi melalui metode elemen hingga. Dengan parameter bebas geometri PBR, geometri kolom, dan kapasitas kuat tarik diafragma eksternal, hasil analisis menunjukkan bahwa kolom CFST dengan rasio lebar terhadap ketebalan yang lebih tinggi menghasilkan kekakuan rotasi balok di pusat PBR yang lebih kecil dan deformasi tabung baja persegi yang lebih besar. Penggunaan kolom CFST pada RMK-K menghasilkan lokasi distribusi tegangan leleh pada PBT, sayap balok sisi atas, dan daerah kritis diafragma eksternal sisi atas.

Kata Kunci: Penampang Balok Tereduksi, *Concrete-Filled Steel Tubular*, Rangka Momen Khusus Komposit, Sendi Plastis, Metode Elemen Hingga





# **BEHAVIOR OF REDUCED BEAM SECTIONS (RBS) ON CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR (CFST) COLUMNS WITH FINITE ELEMENT METHOD (FEM)**

**Alvin Setiawan Rahardjo**  
**NPM: 2017410188**

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

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**  
**FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**  
**(Accredited by SK BAN-PT Number: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)**  
**BANDUNG**  
**JANUARY 2021**

## **ABSTRACT**

Reduced beam section (RBS) is one of the prequalified moment connections designed to improve the structure seismic performance, by setting the location of plastic hinges to develop at the reduced beam section. In composite-special moment frames (C-SMF), reduced beam sections can be connected to composite concrete-filled steel tubular (CFST) columns with external diaphragm connections. The steel tubes of the CFST have different tension and compression stiffnesses. That condition may affect the plastic hinge behavior of reduced beam sections. The numerical models are analyzed up to 5% rotation angle equivalent to a story drift, to evaluate the non-linear behavior of the reduced beam sections and the connected elements, in terms of elastic stiffness, plastic hinge location, yield stress distribution, and steel tube deformation. Different configurations are modeled including RBS geometry, CFST column dimension, and external diaphragm plate size. The analysis results indicate that the steel tubes with higher width-to-thickness ratio result in lower elastic stiffness of the connections due to larger steel tube deformation. Yield stress locations from the use of CFST in C-SMF is distributed in RBS, top beam flange, and top external diaphragm critical sections.

**Keywords:** Reduced Beam Section, *Concrete-Filled Steel Tubular*, Composite-Special Moment Frame, Plastic Hinge, Finite Element Method



## PRAKATA

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Studi Perilaku Sambungan Penampang Balok Tereduksi (PBR) pada Kolom Concrete-Filled Steel Tubular (CFST) dengan Metode Elemen Hingga. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Selama proses penyusunan skripsi, banyak hambatan yang dialami penulis. Akan tetapi, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini berkat bantuan dari berbagai pihak untuk mengatasi hambatan tersebut. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan wawasan kepada penulis dengan sabar selama proses penyusunan skripsi.
2. Seluruh dosen dan staff pengajar KBI Struktur Universitas Katolik Parahyangan selaku dosen penguji untuk segala kritik dan saran.
3. Orang tua dan kakak penulis yang senantiasa memberi dukungan dan doa untuk penulis.
4. Jazlyn Livana yang senantiasa memberikan bantuan, semangat, dan motivasi kepada penulis.
5. Elizabeth M., Vincent C., dan Naomi A. selaku rekan bimbingan skripsi yang telah berjuang bersama-sama dengan penulis dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bryan, Hermawan, Sudandy, dan Michael Chang selaku teman-teman yang mendukung penulis selama masa perkuliahan.
7. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini.

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

Jakarta, 21 Januari 2021



Alvin Setiawan Rahardjo

2017410188



# DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Bagian Pendahuluan.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Pembatasan Masalah.....	5
1.5 Metode Penelitian.....	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
1.7 Diagram Alir Penelitian.....	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	1
2.1 Material Struktural.....	1
2.1.1 Material Baja.....	1
2.1.2 Material Beton.....	3
2.2 Rangka Momen Khusus Komposit (RMK-K).....	4
2.3 Desain Sambungan Momen Penampang Balok Tereduksi (PBR).....	5
2.3.1. Persyaratan Prakualifikasi.....	6

2.3.2. Prosedur Desain Balok PBR.....	7
2.4 Desain Diafragma Eksternal dengan <i>Tie Method</i> .....	11
2.5 Desain Kolom Concrete-Filled Steel Tubular (CFST).....	14
2.6 Metode Elemen Hingga.....	17
<b>BAB 3 PEMODELAN NUMERIK.....</b>	<b>1</b>
3.1 Sistem Struktur.....	1
3.2 Desain Elemen Struktur.....	2
3.2.1. Desain Profil PBR.....	2
3.2.2. Desain Profil CFST.....	6
3.2.3. Desain Diafragma Eksternal.....	7
3.3 Variasi Model Penelitian.....	8
3.4 Pemodelan Struktur.....	9
3.4.1 Geometri Model.....	9
3.4.2 Properti Material.....	17
3.4.3 Pembebanan Model.....	20
3.4.4 Perletakan Model.....	20
3.4.5 Meshing Model.....	21
3.4.6 Constraint Model.....	21
3.4.7 Interaksi Kontak Model.....	21
<b>BAB 4 HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>1</b>
4.1 Tinjauan Perilaku Umum.....	1
4.2 Momen Terhadap Putaran Sudut.....	1
4.3 Kelelehan Sendi Plastis.....	9
4.4 Distribusi Tegangan Leleh.....	23

4.5 Deformasi Tabung Baja Persegi.....	30
4.6 Tinjauan Perilaku Inti Beton.....	34
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	1
5.1. Kesimpulan.....	1
5.2. Saran.....	2
DAFTAR PUSTAKA.....	1





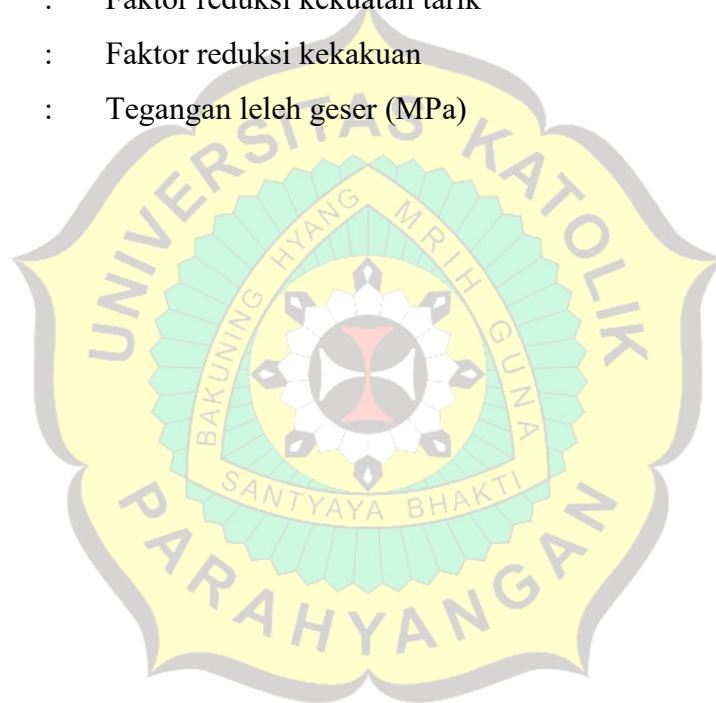


## DAFTAR NOTASI

AISC	:	<i>American Institute of Steel Construction</i>
$a$	:	Jarak horizontal dari muka sayap kolom ke awal pemotongan PBR (mm)
$A$	:	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )
$A_g$	:	Luas penampang bruto (mm <sup>2</sup> )
$A_w$	:	Luas badan penampang (mm <sup>2</sup> )
$b$	:	Panjang pemotongan PBR (mm)
$b_{bf}$	:	Lebar sayap balok (mm)
$b_c$	:	Lebar kolom (mm)
$c$	:	Kedalaman pemotongan pada pusat PBR (mm)
$d$	:	Tinggi penampang balok (mm)
CFST	:	<i>Concrete-Filled Steel Tubular</i>
C-SMF	:	<i>Composite Special Moment Frame</i>
$C_{pr}$	:	Faktor perkiraan kekuatan puncak sambungan
$C_{vl}$	:	Koefisien geser badan
$E$	:	Modulus elastisitas baja (MPa)
$EI_{eff}$	:	Kekakuan efektif penampang komposit
$F_w$	:	Kekuatan nominal logam (MPa)
$F_u$	:	Tegangan tarik minimum (MPa)
$F_y$	:	Tegangan leleh minimum (MPa)
$f'_c$	:	Tegangan tekan beton (MPa)
$f_{yt}$	:	Tegangan leleh tabung baja persegi (MPa)
$f_{yd}$	:	Tegangan leleh pelat diafragma (MPa)
$h_d$	:	Lebar kritis pelat diafragma (mm)
$L$	:	Panjang komponen struktur (mm)
$L_d$	:	Panjang pelat diafragma (mm)
$L_h$	:	Jarak antara lokasi sendi plastis (mm)

$L_w$	:	Panjang sambungan las (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 pada pusat PBR (N-mm)
PBR	:	Penampang Balok Tereduksi
$P$	:	beban aksial (kN)
$P_n$	:	Kekuatan tekan nominal (kN)
$r$	:	Radius girasi (mm)
RBS	:	<i>Reduced Beam Section</i>
RMK-K	:	Rangka Momen Khusus Komposit
$R_y$	:	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)
$T_{diaph}$	:	Kapasitas kekuatan tarik diafragma eksternal (N)
$V_{gravitasi}$	:	Gaya geser balok akibat beban gravitasi (N)
$V_n$	:	Gaya geser balok nominal (N)
$V_{RBS}$	:	Gaya geser pada pusat PBR (N)
$V_u$	:	Gaya geser perlu dari balok dan sambungan badan balok-ke-kolom (N)
$w_l$	:	Panjang ukuran las (mm)
$Z_{RBS}$	:	Modulus penampang plastis pada pusat penampang balok tereduksi (mm <sup>3</sup> )
$Z_x$	:	Modulus penampang plastis terhadap sumbu-x, untuk penampang balok penuh (mm <sup>3</sup> )

$\Delta L$	:	Pertambahan panjang (mm)
$\alpha_t$	:	Faktor lebar tabung baja persegi
$\alpha_d$	:	Faktor lebar diafragma eksternal
$\varepsilon$	:	Regangan aksial
$\lambda$	:	Rasio kelangsingan efektif
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	:	Tegangan tarik atau tekan pada arah utama (MPa)
$\sigma_y$	:	Tegangan leleh uniaksial (MPa)
$\phi_d$	:	Faktor ketahanan untuk keadaan batas daktail
$\phi_t$	:	Faktor reduksi kekuatan tarik
$\tau_b$	:	Faktor reduksi kekakuan
$\tau_y$	:	Tegangan leleh geser (MPa)



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi kolom concrete-filled steel tubular (Sumber: Kajima, 2004).....	2
Gambar 1.2 Gaya yang bekerja pada sambungan balok-kolom (Sumber: Tjahjanto et al., 2019).....	4
Gambar 1.3 Detail sambungan balok-kolom tampak atas.....	6
Gambar 1.4 Detail sambungan balok-kolom tampak samping.....	7
Gambar 1.5 Diagram Alir Penelitian.....	9
Gambar 2.1 Kurva tegangan (sumbu-y) dan regangan (sumbu-x) baja (Segui, 2007)..	2
Gambar 2.2 Kurva tegangan-regangan beton (McCormac, 2014).....	4
Gambar 2.3 Sambungan PBR (AISC 358, 2016).....	7
Gambar 2.4 Pendekatan <i>tie method</i> (Tjahjanto et al., 2019).....	12
Gambar 2.5 Area efektif desain <i>tie method</i> (Tjahjanto et al., 2019).....	13
Gambar 2.6 Faktor $\alpha$ , dengan asumsi $\alpha_d$ bernilai tetap 0,7 (Tjahjanto et al., 2019)....	14
Gambar 3.1 Skematik model penelitian.....	2
Gambar 3.2 Profil balok WF 446x302x13x21.....	3
Gambar 3.3 Profil kolom CFST 450x450x22 dan 500x500x16.....	7
Gambar 3.4 Pemodelan geometri balok IWF 446x302x13x21.....	10
Gambar 3.5 Pemodelan kolom CFST 450x450x22 mm tabung baja persegi (a) dan inti beton (b).....	11
Gambar 3.6 Pemodelan kolom CFST 500x500x16 mm tabung baja persegi (a) dan inti beton (b).....	12
(a).....	13
Gambar 3.7 Pemodelan PBR tipe A (a) dan B (b).....	13
Gambar 3.8 Pemodelan pelat diafragma eksternal CFST 450x450x22 dengan lebar efektif 165 mm (a) dan 95 mm (b).....	15
Gambar 3.9 Pemodelan pelat diafragma eksternal CFST 500x500x16 dengan lebar efektif 170 mm (a), 70 mm (b), dan 105 mm (c).....	16
Gambar 3.10 Pemodelan pelat web balok.....	17
Gambar 3.11 Pemodelan tegangan-regangan baja BJ37 yang disederhanakan.....	18

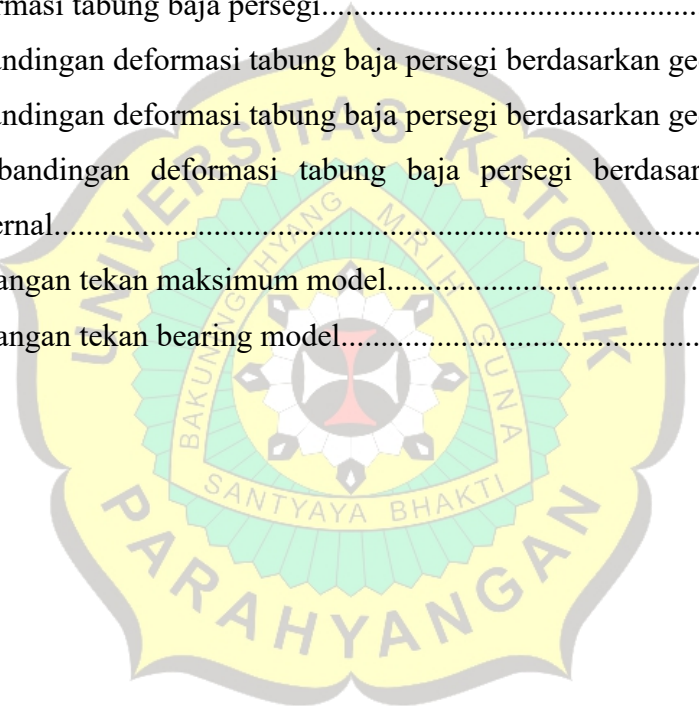
Gambar 3.12 Pemodelan tegangan-regangan beton dalam kondisi tekan (a) dan tarik (b) yang disederhanakan.....	19
Gambar 3.13 Pemodelan pembebanan penelitian.....	20
Gambar 4.1 Kurva momen terhadap putaran sudut.....	2
Gambar 4.2 Kurva momen terhadap putaran sudut tipe A.....	2
Gambar 4.3 Kurva momen terhadap putaran sudut tipe B.....	3
Gambar 4.4 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model A-450-opt.....	11
Gambar 4.5 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model A-450.....	12
Gambar 4.6 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model B-450-opt.....	13
Gambar 4.7 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model B-450.....	14
Gambar 4.8 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model A-500-opt.....	15
Gambar 4.9 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model A-500.....	16
Gambar 4.10 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model B-500-opt....	17
Gambar 4.11 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model B-500.....	18
Gambar 4.12 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model B-500-2.....	19
Gambar 4.13 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model A-rigid.....	20
Gambar 4.14 Regangan plastis terjadi pertama (a) dan akhir (b) model B-rigid.....	21
Gambar 4.15 Distribusi tegangan model A-450-opt.....	24
Gambar 4.16 Distribusi tegangan model A-450.....	24
Gambar 4.17 Distribusi tegangan model B-450-opt.....	25
Gambar 4.18 Distribusi tegangan model B-450.....	25
Gambar 4.19 Distribusi tegangan model A-500-opt.....	26
Gambar 4.20 Distribusi tegangan model A-500.....	26
Gambar 4.21 Distribusi tegangan model B-500-opt.....	27
Gambar 4.22 Distribusi tegangan model B-500.....	27
Gambar 4.23 Distribusi tegangan model B-500-2.....	28
Gambar 4.24 Distribusi tegangan model A-rigid.....	28
Gambar 4.25 Distribusi tegangan model B-rigid.....	29
Gambar 4.26 Lokasi persebaran tegangan tarik model penelitian A-500-opt.....	35
Gambar 4.27 Lokasi persebaran tegangan tekan model penelitian A-450-opt.....	36

Gambar 4.28 Lokasi persebaran tegangan tekan bearing model penelitian A-450-opt37



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Spesifikasi Model.....	6
Tabel 3.1 Spesifikasi desain model penelitian.....	9
Tabel 4.1 Kekakuan rotasi balok.....	4
Tabel 4.2 Perbandingan kekakuan berdasarkan geometri PBR.....	5
Tabel 4.3 Perbandingan kekakuan berdasarkan geometri PBR.....	7
Tabel 4.4 Perbandingan kekakuan berdasarkan kapasitas diafragma eksternal.....	8
Tabel 4.5 Lokasi terjadi sendi plastis pada kelelahan pertama dan akhir.....	10
Tabel 4.6 Deformasi tabung baja persegi.....	31
Tabel 4.7 Perbandingan deformasi tabung baja persegi berdasarkan geometri PBR..	31
Tabel 4.8 Perbandingan deformasi tabung baja persegi berdasarkan geometri kolom33	
Tabel 4.9 Perbandingan deformasi tabung baja persegi berdasarkan kapasitas diafragma eksternal.....	34
Tabel 4.10 Tegangan tekan maksimum model.....	36
Tabel 4.11 Tegangan tekan bearing model.....	37







## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN DESAIN KAPASITAS ELEMEN STRUKTUR

LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN DESAIN SAMBUNGAN MOMEN  
PENAMPANG BALOK TEREDUKSI

LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN DESAIN PELAT DIAFRAGMA EKSTERNAL





# BAB 1

## PENDAHULUAN

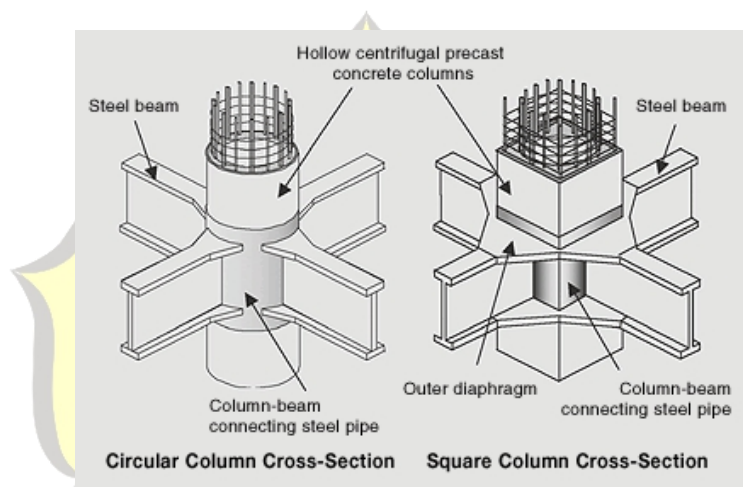
### 1.1 Bagian Pendahuluan

Semenjak terjadinya bencana *The Great Chicago Fire* pada tahun 1871, yang berdampak pada kerusakan sejumlah besar bangunan gedung berbahan utama kayu di kota Chicago, Amerika Serikat, kebijakan penggunaan material bangunan gedung alternatif tahan api mulai dikembangkan dan diperketat. Kondisi tersebut, menjadi titik mulainya pengembangan material baja untuk dapat digunakan sebagai material konstruksi bangunan gedung di masa mendatang. Penggunaan material baja sebagai material bangunan gedung mengambil inspirasi dari material konstruksi infrastruktur transportasi rel yang mulai berkembang di negara-negara benua Eropa sekitar tahun 1800. Berdirinya bangunan *The Home Insurance Building* di kota Chicago, Amerika Serikat, yang merupakan bangunan bertingkat tinggi berbahan utama rangka baja, menjadi tolok ukur keberhasilan penggunaan material baja untuk konstruksi bangunan gedung.

Sampai tahun 2018, menurut data *World Steel Association*, sebesar 51% dari produksi baja global digunakan untuk industri konstruksi bangunan gedung dan infrastruktur, dan akan terus bertambah seiring meningkatnya kebutuhan akan konstruksi. Sebagai material struktural bangunan gedung, baja memiliki keuntungan: rasio kekuatan terhadap berat jenis yang tinggi, sifat daktilitas yang tinggi, kekuatan tarik yang tinggi, dapat diproduksi dalam jumlah besar dengan kualitas yang relatif seragam, fleksibilitas dan kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi.

Seiring perkembangan teknologi material konstruksi, material baja yang dikombinasikan dengan material beton membentuk kolom komposit yang terdiri lapisan tabung baja persegi dan inti beton, yang dikenal sebagai *concrete-filled steel tubular* (CFST). CFST banyak dikembangkan dan digunakan untuk praktis di negara China, Jepang, dan negara-negara di benua Eropa, terutama sebagai kolom bangunan penahan gaya lateral, terutama di wilayah zona gempa bumi tinggi. Sifat dari material

baja dan beton masing-masing menghasilkan keuntungan pada jenis kolom ini dibandingkan dengan kolom konvensional non-komposit, yaitu: daktilitas dan kekuatan tarik kolom yang meningkat dari sifat baja, kekuatan tekan dan pencegahan tekuk lokal pada kolom dari sifat beton, selain itu juga ideal untuk momen dua arah (*bi-axial moment*), karena tidak memiliki sumbu lemah. Selain itu, terdapat juga keuntungan-keuntungan dibandingkan dengan kolom beton bertulang konvensional, yaitu: kekuatan tekan yang meningkat, kemudahan pelaksanaan konstruksi (Morino et al., 2001). Ilustrasi kolom pada Gambar 1.1.

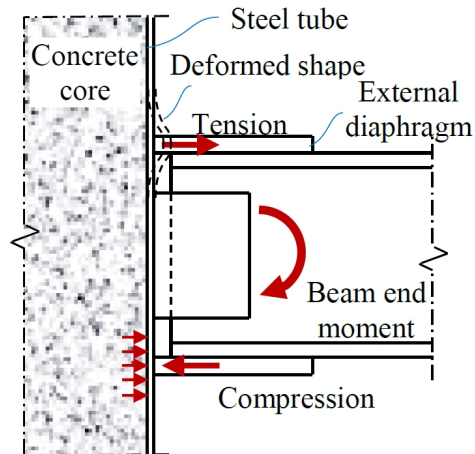


**Gambar 1.1** Ilustrasi kolom concrete-filled steel tubular (Sumber: Kajima, 2004)

Rangka momen khusus komposit (RMK-K) atau *special moment frame* (C-SMF) merupakan sistem struktur yang dirancang secara khusus untuk menahan momen dan gaya lateral dari gempa, dengan memanfaatkan komponen struktur komposit. Sistem struktur ini dirancang dengan menggunakan konsep *strong column weak beam*, yang dirancang secara sedemikian rupa agar bangunan dapat merespon terhadap beban gempa dengan mengembangkan mekanisme sendi plastis pada balok-balok dan dasar kolom (Rambe, 2009). Salah satu jenis sambungan terpraktualifikasi berdasarkan AISC 358-16 yang memenuhi kriteria struktur tersebut, adalah penampang balok tereduksi (PBR) atau *reduced beam section* (RBS). PBR merupakan modifikasi penampang balok dengan pemberian pengurangan luasan

sayap sejarak tertentu dari tumpuan. Proses pengurangan luasan dilakukan secara sedemikian rupa sehingga proses pelelehan dan sendi plastis dapat terjadi pada bagian balok yang tereduksi, serta mengurangi momen dan mengontrol terjadinya deformasi inelastis pada kolom.

Berdasarkan sifat dari komponen CFST dan penampang balok tereduksi, penggunaan CFST sebagai kolom pada sistem struktur rangka pemikul momen khusus komposit dapat menjadi kombinasi yang efektif dalam perancangan struktur bangunan gedung tahan gempa. Hasil penelitian eksperimental dari Wang et al. (2007) menunjukkan perpaduan tersebut berhasil memenuhi konsep *strong column weak beam*. Berbagai penelitian mengenai sistem kolom CFST yang dihubungkan dengan balok melalui berbagai sambungan sudah dilakukan, dimana salah satunya adalah menggunakan diafragma eksternal. Diafragma eksternal memiliki keuntungan dibandingkan dengan diafragma jenis internal, seperti kemudahan pelaksanaan, efisiensi transfer gaya, dapat berlaku untuk rangka dua arah (Tjahjanto et al., 2019). Pada sistem rangka pemikul momen khusus, momen akan diterima pada ujung balok, lokasi dimana balok disambungkan dengan kolom. Bagian atas balok akan memberikan gaya tarik dan bagian bawah balok akan memberikan gaya tekan pada kolom (Gambar 1.2). Pada kolom CFST, gaya tekan dari bagian bawah balok akan kuat diterima, karena ditahan langsung oleh lapisan baja dan beton sekaligus, sedangkan pada bagian atas balok, gaya tarik hanya akan ditahan oleh lapisan tabung baja persegi, dimana baja perbedaan antara nilai kekakuan tekan dan tarik.



**Gambar 1.2** Gaya yang bekerja pada sambungan balok-kolom (Sumber: Tjahjanto et al., 2019)

## 1.2 Rumusan Masalah

Efektivitas pembentukan sendi plastis pada penampang balok tereduksi (PBR) dapat dipengaruhi oleh kondisi tumpuan atau sambungan balok-kolom. Dalam suatu sistem struktur rangka pemikul momen khusus komposit yang ditinjau, balok berpenampang tereduksi dihubungkan kolom *concrete-filled steel tubular* (CFST) dengan sambungan diafragma eksternal. Lapisan tabung baja persegi pada CFST memiliki perbedaan antara kekakuan tekan dan tarik. Kondisi kekakuan tersebut dapat mempengaruhi efektivitas penampang balok tereduksi dalam membentuk sendi plastis.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mendesain rangka momen khusus komposit (RMK-K) dengan elemen balok berpenampang tereduksi dan kolom CFST berdasarkan AISC 341-16, AISC 360-16, dan AISC 358-16;
2. Memodelkan dan menganalisis balok berpenampang tereduksi dan kolom CFST dengan sambungan diafragma eksternal;

3. Mengevaluasi pengaruh parameter-parameter desain terhadap perilaku sendi plastis pada penampang balok tereduksi.

#### 1.4 Pembatasan Masalah

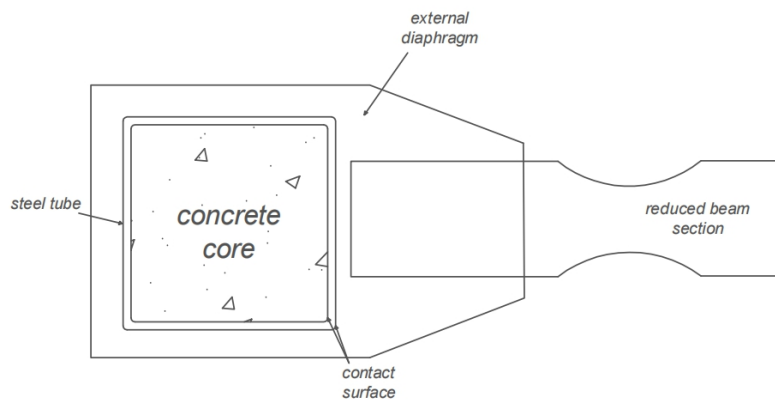
Desain dan analisis dalam penelitian ini diberi batasan-batasan sebagai berikut:

- a. Struktur yang ditinjau adalah sub-struktur balok baja dan kolom CFST eksterior yang merupakan bagian dari sistem struktur rangka momen khusus komposit (RMK-K) berdasarkan AISC 341-16;
- b. Tipe sambungan terpraktualifikasi yang digunakan adalah sambungan momen penampang balok tereduksi (PBR) dengan desain berdasarkan AISC 358-16;
- c. Kolom komposit jenis CFST dengan desain berdasarkan AISC 360-16;
- d. Sambungan balok-kolom menggunakan diafragma eksternal dengan desain berdasarkan *tie method* (Tjahjanto et al., 2019);
- e. Pemodelan dan analisis elemen hingga menggunakan program Abaqus;
- f. Bagian struktur yang dimodelkan adalah balok baja profil WF, kolom CFST, dan pelat sambungan diafragma eksternal;
- g. Profil baja yang digunakan adalah profil dengan standar JIS (*Japanese Industrial Standard*);
- h. Jenis material baja yang digunakan adalah BJ 37 ( $F_u = 370$  MPa &  $F_y = 240$  MPa) dengan perilaku elastis-plastis linier/ sempurna;
- i. Inti kolom CFST menggunakan material beton dengan  $f'_c = 30$  MPa yang diasumsikan berperilaku elastis-plastis multilinier dengan pembatasan nilai tegangan tarik dan tekan;
- j. Profil balok WF, profil tabung baja persegi kolom, dan pelat diafragma dimodelkan sebagai elemen *shell*;
- k. Inti beton kolom CFST dimodelkan sebagai elemen *solid*;
- l. Sambungan las antara balok dan pelat diafragma diasumsikan kuat dan dimodelkan sebagai *tie constraint*;
- m. Gaya-gaya ujung balok diberikan secara statis inkremental;

- n. Parameter yang divariasikan adalah dimensi reduksi penampang balok dan dimensi pelat diafragma. Selain itu, sambungan balok ke kolom WF juga dianalisis sebagai pembanding. (Tabel 1.1)
- o. Skema pemodelan dapat dilihat pada Gambar 1.3, dan 1.4;
- p. Konfigurasi spesimen balok-kolom yang digunakan adalah sebagai berikut:

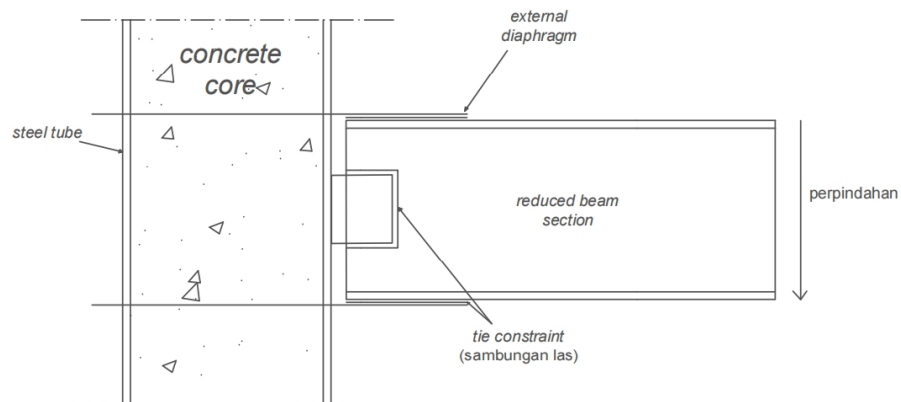
**Tabel 1.1** Spesifikasi Model

No.	Nama	Profil	Konfigurasi PBT	Kapasitas diafragma eksternal
1	A-450-opt	Kolom CFST 450x450x22	c max (75.5 mm) - a min (151 mm)	Kapasitas optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(A)	Tebal 30 mm, lebar efektif 165 mm
2	A-450	Kolom CFST 450x450x22	c max (75.5 mm) - a min (151 mm)	Kapasitas kurang optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(A)	Tebal 20 mm, lebar efektif 95 mm
3	B-450-opt	Kolom CFST 450x450x22	c min (54 mm) - a max (226.5 mm)	Kapasitas optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(B)	Tebal 30 mm, lebar efektif 165 mm
4	B-450	Kolom CFST 450x450x22	c min (54 mm) - a max (226.5 mm)	Kapasitas kurang optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(B)	Tebal 20 mm, lebar efektif 95 mm
5	A-500-opt	Kolom CFST 500x500x16	c max (75.5 mm) - a min (151 mm)	Kapasitas optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(A)	Tebal 30 mm, lebar efektif 170 mm
6	A-500	Kolom CFST 500x500x16	c max (75.5 mm) - a min (151 mm)	Kapasitas kurang optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(A)	Tebal 20 mm, lebar efektif 70 mm
7	B-500-opt	Kolom CFST 500x500x16	c min (54 mm) - a max (226.5 mm)	Kapasitas optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(B)	Tebal 30 mm, lebar efektif 170 mm
8	B-500	Kolom CFST 500x500x16	c min (54 mm) - a max (226.5 mm)	Kapasitas kurang optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(B)	Tebal 20 mm, lebar efektif 70 mm
9	B-500-2	Kolom CFST 500x500x16	c min (54 mm) - a max (226.5 mm)	Kapasitas kurang optimal
		Balok WF 446x302x13x21	(B)	Tebal 20 mm, lebar efektif 105 mm
10	A-rigid	Tumpuan rigid	c max (75.5 mm) - a min (151 mm)	-
		Balok WF 446x302x13x21	(A)	
11	B-rigid	Tumpuan rigid	c min (54 mm) - a max (226.5 mm)	-
		Balok WF 446x302x13x21	(B)	



**Gambar 1.3** Detail sambungan balok-kolom tampak atas





**Gambar 1.4** Detail sambungan balok-kolom tampak samping

## 1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Studi literatur

Literatur digunakan sebagai sumber informasi yang berasal dari buku referensi, makalah ilmiah, dan panduan yang dikeluarkan oleh AISC. Literatur berguna sebagai dasar informasi dan panduan dalam menyelesaikan penelitian ini;

### 2. Studi analisis numerik

Analisis numerik dilakukan dengan metode elemen hingga, dimana model dan analisis hasil dibuat dengan bantuan program Abaqus.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I            PENDAHULUAN

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

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi teori-teori dasar yang menjadi landasan dalam analisis penelitian ini;

**BAB III PEMODELAN NUMERIK**

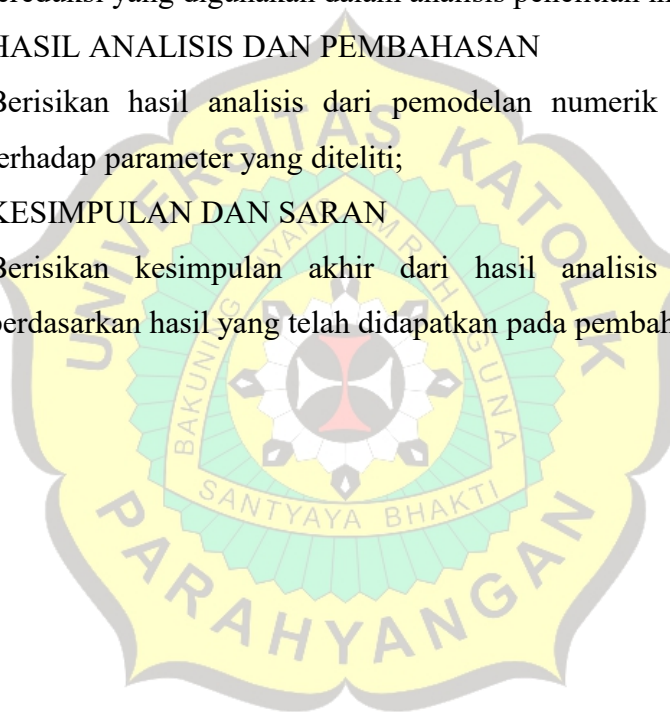
Berisi desain dan pemodelan komponen sambungan penampang balok tereduksi yang digunakan dalam analisis penelitian ini;

**BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

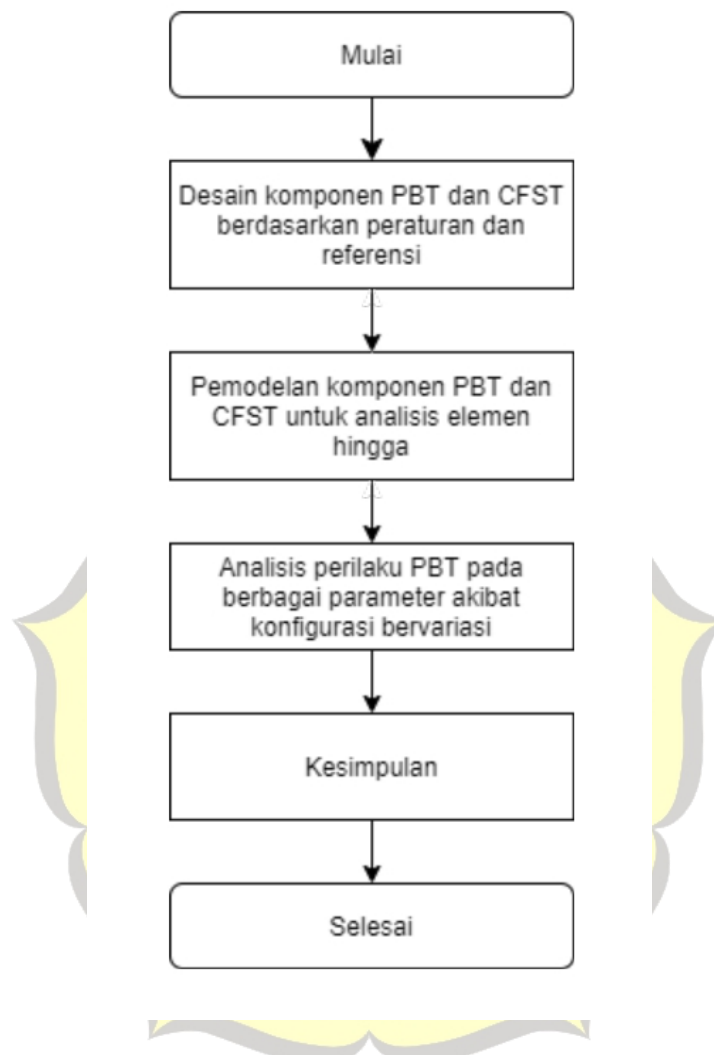
Berisikan hasil analisis dari pemodelan numerik dan pembahasan terhadap parameter yang diteliti;

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan kesimpulan akhir dari hasil analisis dan saran-saran berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada pembahasan.



### 1.7 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 1.5** Diagram Alir Penelitian



