

SKRIPSI

**STUDI NUMERIKAL PENGARUH SAMBUNGAN
SPLICES DENGAN BAUT TERHADAP KEKAKUAN
LATERAL KOLOM BAJA**



**VINCENT CANDELANO
NPM : 2017410117**

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
2021**

SKRIPSI

**STUDI NUMERIKAL PENGARUH SAMBUNGAN
SPLICES DENGAN BAUT TERHADAP KEKAKUAN
LATERAL KOLOM BAJA**



**VINCENT CANDELANO
NPM : 2017410117**

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**

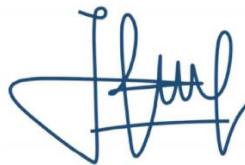
SKRIPSI

**STUDI NUMERIKAL PENGARUH SAMBUNGAN
SPICES DENGAN BAUT TERHADAP KEKAKUAN
LATERAL KOLOM BAJA**



**VINCENT CANDELANO
NPM : 2017410117**

**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 dibawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut :

Nama : Vincent Candelano
NPM : 2017410117
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul :

STUDI NUMERIKAL PENGARUH SAMBUNGAN *SPLICES* DENGAN BAUT TERHADAP KEKAKUAN LATERAL KOLOM BAJA

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 Pekanbaru
25 Januari 2021



Vincent Candelano
2017410117

STUDI NUMERIKAL PENGARUH SAMBUNGAN *SPLICES* DENGAN BAUT TERHADAP KEKAKUAN LATERAL KOLOM BAJA

Vincent Candelano
NPM: 2017410117

Pembimbing: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor : 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)

BANDUNG
FEBRUARI 2021

ABSTRAK

Sambungan *splices* sering digunakan pada struktur gedung baja bertingkat karena panjang profil baja yang terbatas. Tetapi dalam analisis struktur, pengaruh sambungan *splices* yang dapat mereduksi kekakuan lateral kolom tidak dipertimbangkan. Dalam beberapa desain prosedur, sambungan *splices* hanya didesain terhadap aspek kekuatan tanpa mempertimbangkan aspek kekakuan. Karena itu, kekakuan lateral kolom yang disebabkan oleh sambungan *splices* sebaiknya diperiksa, terutama pada sambungan baut yang memiliki kekakuan lebih rendah daripada sambungan las. Dalam studi ini, kekuatan dan kekakuan kolom dengan sambungan *splices* baut dianalisis pada kondisi inelastik. Analisis numerik kolom dengan sambungan *splices* baut secara *non-linear* dilakukan menggunakan perangkat lunak ABAQUS. Berbagai konfigurasi dimodelkan dalam studi ini, seperti lokasi sambungan *splices*, sambungan *web*, dan sambungan *flange*. Hasil analisis menunjukkan sambungan *splices* dapat mereduksi kekakuan lateral kolom dalam rentang 0.517% hingga 3.565%. Lokasi sambungan *splices* di tengah bentang tinggi kolom menyebabkan reduksi kekakuan lateral kolom (0.521% - 0.965%) yang lebih rendah daripada di lokasi 1.2 m dari ujung kolom (0.517% - 3.656%). Pada sambungan *web*, konfigurasi baut yang menyebar ke *flange* menyebabkan reduksi kekakuan lateral yang lebih rendah (0.517% - 2.954%) daripada yang mengumpul di garis tengah kolom (0.961% - 3.565%). Pada sambungan *flange*, konfigurasi yang menggunakan pelat penyambung ganda menyebabkan reduksi kekakuan lateral (0.517% - 1.033%) yang lebih rendah daripada yang menggunakan pelat penyambung tunggal (0.521% - 3.565%).

Kata Kunci Sambungan Baut, Kolom Baja, Sambungan *Splices*, Kekakuan Lateral, Metode Elemen Hingga.

NUMERICAL STUDY OF BOLTED SPLICED CONNECTIONS ON STEEL COLUMN LATERAL STIFFNESS

Vincent Candelano
NPM: 2017410117

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
FEBRUARY 2021

ABSTRACT

Spliced connections are often used in multi-storey steel building structures due to steel profile length limitation. However in structural analyses, splicing effects which can reduce the column lateral stiffness aren't considered. In some design procedures, spliced connections are designed for strength and mostly ignore the stiffness aspect. Therefore, column lateral stiffness caused by spliced connections should be investigated, especially if bolted connections are used, which have lower stiffness than the welded connections. In this study, stiffness and strength of columns with bolted spliced connections are analyzed to their inelastic condition. Non-linear numerical analyses of columns with bolted spliced connections are conducted using ABAQUS. Different configurations are modeled including the splices locations, web connections, and flange connections. The analysis results show that the splices can reduce the column lateral stiffness ranged from 0.517% to 3.565%. Splices that are located at the middle of the column height produces lower reduction of lateral stiffness (0.521% - 0.965%) than splices that are located at 1.2 m from the column ends (0.517% - 3.656%). In web connection, bolts that are distributed toward the flanges causes lower reduction of lateral stiffness (0.517% - 2.954%) than bolts that are placed near the column centerline (0.961% - 3.565%). In flange connection, the double plate configuration causes lower reduction of lateral stiffness (0.517% - 1.033%) than the single plate configuration (0.521% - 3.565%).

Keywords: Bolted Connection, Steel Column, Spliced Connections, Lateral Stiffness, Finite Element Analysis

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, anugerah, dan pencerahan-Nya yang telah menyertai penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“STUDI NUMERIKAL PENGARUH SAMBUNGAN *SPLICES* DENGAN BAUT TERHADAP KEKAKUAN LATERAL KOLOM BAJA”** dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Dalam proses pengerjaan dan penyusunan skripsi ini, penulis menerima berbagai ilmu pengetahuan, masukan, bantuan, dukungan, dan saran dari berbagai pihak karena keterbatasan pengetahuan dan hambatan-hambatan yang tidak bisa dihadapi penulis sendiri. Oleh karena itu, penulis sangat berterimakasih pada :

1. Orang tua dan adik penulis yang selalu mendukung, memotivasi, dan memberikan semangat selama proses pengerjaan dan penyusunan skripsi.
2. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu meluangkan waktu dengan membimbing dan memberikan banyak ilmu pengetahuan, masukan dan saran selama proses pengerjaan dan penyusunan skripsi.
3. Bapak/Ibu Dosen yang telah hadir dan memberikan kritik dan masukan saat seminar judul, seminar isi, dan sidang skripsi.
4. Teman-teman seperjuangan SMA yaitu Darwin, Edsel, Wilson, dan Theo atas pencerahan dan kebersamaan selama proses penyusunan skripsi.
5. Teman seperjuangan kuliah Richo Brian dan Glen Hadi yang telah memberikan bantuan pikiran, dan koreksi tata bahasa dalam proses penyusunan skripsi.
6. Teman-teman seperjuangan skripsi; Alvin Setiawan, Elizabeth Manao, Jazlyn Livana, dan Naomi Azaria yang telah berbagi ilmu pengetahuan selama proses penyusunan skripsi.
7. Seluruh teman-teman Teknik Sipil UNPAR Angkatan 2017 atas bantuan dan kebersamaannya selama di UNPAR.
8. Selutuh pihak yang sudah turut membantu dan memberikan dukungan yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi masih tidak sempurna sehingga masih banyak kekurangan dan keterbatasan sehingga penulis menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun agar kedepannya dapat menjadi lebih baik lagi. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penelitian dan penerapan di masa yang akan datang. Terima kasih.

Pekanbaru, 25 Januari 2021



Vincent Candelano

2017410117



DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-4
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-4
1.4 Pembatasan Masalah	1-4
1.5 Metode Penelitian.....	1-7
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-7
BAB 2 DASAR TEORI.....	2-1
2.1 Material Baja Struktural	2-1
2.1.1 Kurva Hubungan Tegangan -Regangan	2-1
2.1.2 Teori Leleh Huber-von-Mises-Hencky	2-2
2.2 Kekakuan Kolom.....	2-3
2.3 Sambungan Baut	2-5
2.3.1 Baut Mutu Tinggi	2-6

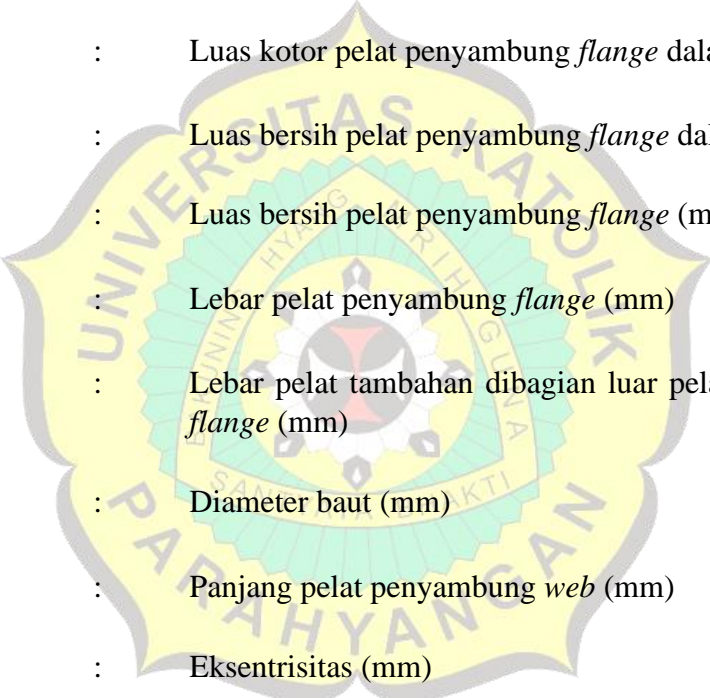
2.3.2	Ukuran Lubang Baut	2-7
2.3.3	Spasi Minimum	2-8
2.3.2	Jarak Ujung Minimum.....	2-8
2.4	Persyaratan Desain Sambungan <i>Splices</i>	2-9
2.4.1	Lokasi Sambungan <i>Splices</i>	2-9
2.4.2	Kekuatan Sambungan <i>Splices</i>	2-9
2.4.3	Kekuatan Geser Sambungan <i>Splices</i>	2-10
2.4.4	Konfigurasi Sambungan <i>Splices</i>	2-10
2.5	Prosedur Desain Sambungan <i>Splices</i>	2-10
2.6	Metode Elemen Hingga.....	2-11
2.6.1	Elemen <i>Shell</i>	2-12
2.6.2	Elemen <i>Wire</i>	2-13
2.6.3	Elemen <i>Connector</i>	2-13
2.6.4	<i>Contact Surface</i>	2-14
BAB 3 DESAIN SAMBUNGAN <i>SPLICES</i>		3-1
3.1	Prosedur Desain Sambungan <i>Splices</i>	3-1
3.1.1	Desain Prosedur Umum.....	3-3
3.1.1.1	<i>General Governing Criteria</i>	3-3
3.1.2	Desain Prosedur <i>Flange</i>	3-4
3.1.2.1	<i>Governing Criteria</i>	3-4
3.1.2.2	<i>Design Actions</i>	3-5
3.1.2.3	<i>Connection Design Strength Limits</i>	3-6
3.1.2.4	<i>Bolt Group Design Strength Limits</i>	3-8
3.1.2.5	<i>Flange Plate Design Strength Limits</i>	3-8

3.1.3	Desain Prosedur <i>Web</i>	3-10
3.1.3.1	<i>Governing Criteria</i>	3-10
3.1.3.2	<i>Design Actions</i>	3-11
3.1.3.3	<i>Connection Design Strength Limits</i>	3-11
3.1.3.4	<i>Bolt Group Design Strength Limits</i>	3-14
3.1.3.5	<i>Web Plate Design Strength Limits</i>	3-14
3.2	Hasil Desain Sambungan <i>Splices</i>	3-17
BAB 4 PEMODELAN NUMERIK.....		4-1
4.1	Skematik dan Konfigurasi Pemodelan	4-1
4.2	Pemodelan Material Baja	4-3
4.3	Pemodelan Geometri Kolom dan Sambungan <i>Splices</i>	4-4
4.4	Pemodelan Elemen <i>Wire</i> dan Elemen <i>Connector</i>	4-13
4.5	Pemodelan <i>Contact Surface</i>	4-17
4.6	Pemodelan Perletakan	4-19
4.7	Pemodelan <i>Mesh</i>	4-20
BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		5-1
5.1	Analisis Statik Non-Linear	5-1
5.2	Hasil Analisis Statik Non-Linear	5-2
5.3	Verifikasi Hasil Analisis	5-5
5.4	Analisis Perbedaan Kekakuan Lateral Kolom.....	5-6
5.5	Analisis Pengaruh Lokasi Pemasangan Sambungan <i>Splices</i> Terhadap Kekakuan Lateral Kolom	5-7
5.6	Analisis Proporsi Kekakuan Lateral Kolom Akibat Sambungan <i>Web</i> dan Sambungan <i>Flange</i>	5-9

5.7	Analisis Kekakuan dan Perilaku Konfigurasi Sambungan <i>Flange</i> Tipe 1 dan Tipe 2	5-13
5.8	Analisis Kekakuan dan Perilaku Konfigurasi Sambungan <i>Web</i> Tipe A dan Tipe B	5-19
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		6-1
6.1	Kesimpulan.....	6-1
6.2	Saran.....	6-3
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN.....		



DAFTAR NOTASI



A	:	Luas Penampang (mm^2)
A_g	:	Luas kotor penampang kolom (mm^2)
A_{gf}	:	Luas kotor penampang <i>flange</i> (mm^2)
A_{gw}	:	Luas kotor penampang <i>web</i> (mm^2)
A_{gi2}	:	Luas kotor pelat penyambung <i>flange</i> dalam (mm^2)
A_{ni2}	:	Luas bersih pelat penyambung <i>flange</i> dalam (mm^2)
A_{nfi}	:	Luas bersih pelat penyambung <i>flange</i> (mm^2)
b_{if}	:	Lebar pelat penyambung <i>flange</i> (mm)
b_{i2}	:	Lebar pelat tambahan dibagian luar pelat penyambung <i>flange</i> (mm)
d_f	:	Diameter baut (mm)
d_{iw}	:	Panjang pelat penyambung <i>web</i> (mm)
e	:	Eksentrisitas (mm)
E	:	Modulus Elastisitas (MPa)
F_{nt}	:	Tegangan Tarik Nominal Baut (MPa)
F_{nv}	:	Tegangan Geser Baut (MPa)
F_y	:	Tegangan Leleh (MPa)
F_u	:	Tegangan Ultimit (MPa)
f_{yf}	:	Tegangan leleh penampang <i>flange</i> (MPa)
f_{yfi}	:	Tegangan leleh pelat penyambung <i>flange</i> (MPa)

f_{yw}	:	Tegangan leleh penampang <i>web</i> (MPa)
f_{ywi}	:	Tegangan leleh pelat penyambung <i>web</i> (MPa)
f_{ui}	:	Tegangan ultimit pelat penyambung <i>flange</i> (MPa)
G	:	Modulus Geser (MPa)
I	:	Momen Inersia (mm ⁴)
k	:	Kekakuan (N/mm)
L	:	Panjang Bentang (mm)
M_p	:	Momen Plastis (Nmm)
M^*	:	Momen desain (Nmm)
n_{pf}	:	Jumlah baris baut dalam arah memendek sambungan <i>flange</i>
n_{pw}	:	Jumlah baris baut pada sambungan <i>web</i>
N_c^*	:	Gaya aksial desain (N)
N_{ft}^*	:	Resultan gaya tarik pada sambungan <i>flange</i> (N)
N_{splice}^*	:	Gaya tekan minimal yang terjadi (N)
P	:	Gaya (N)
r	:	Jari-jari kelengkungan kolom (mm)
s_g	:	Spasi antar as baut dalam arah lebar pelat penyambung <i>flange</i> (mm)
s_{g2}	:	Spasi antar as baut dalam arah lebar pelat penyambung <i>web</i> (mm)
t_f	:	Tebal <i>flange</i> kolom (mm)
t_{if}	:	tebal pelat penyambung <i>flange</i> (mm)
t_w	:	tebal <i>web</i> kolom (mm)
t_{iw}	:	tebal pelat penyambung <i>web</i> (mm)

ν	:	Rasio Poisson
V^*	:	Gaya geser desain (N)
Z_b	:	Faktor interaksi baut untuk 1 baris baut
Z_{el}	:	Faktor sobek arah longitudinal pada <i>web</i>
α	:	faktor bentuk
a_{e1}	:	Jarak dari as baut terujung ke ujung pelat penyambung <i>flange</i> (mm)
a_{e3}	:	Jarak dari as baut yang paling dekat dengan bagian tengah <i>flange</i> ke garis pertemuan antara kolom yang akan disambung (mm)
a_{e4}	:	Jarak dari as baut yang paling dekat dengan bagian tengah <i>web</i> ke garis pertemuan antara kolom yang akan disambung dalam arah lebar pelat penyambung <i>web</i> (mm)
a_{e5}	:	Jarak dari as baut yang paling ujung ke ujung pelat penyambung <i>web</i> dalam arah lebar pelat penyambung <i>web</i> (mm)
a_{e6}	:	Jarak dari as baut yang paling ujung ke ujung pelat penyambung <i>web</i> dalam arah panjang pelat penyambung <i>web</i> (mm)
a_{exi}	:	Jarak baut ke tepi pelat penyambung (mm)
a_{exwi}	:	Jarak tepi arah longitudinal (mm)
a_{ey}	:	Jarak tepi arah transversal (mm)
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$:	Tegangan Tarik Dalam Arah Utama (MPa)
σ_y	:	Tegangan Leleh Uniaksial (MPa)
δ	:	Perpindahan (mm)
ϕ_b	:	Faktor Reduksi Kekuatan Tumpuan LRFD (0.75)

ϕ_c	:	Faktor Reduksi Kekuatan Tekan LRFD (0.9)
ϕ_f	:	Faktor Reduksi Kekuatan Lentur LRFD (0.9)
ϕ_s	:	Faktor Reduksi Kekuatan Tarik LRFD (0.9)
ϕ_v	:	Faktor Reduksi Kekuatan Geser LRFD (0.75)
ϕN_b	:	Kapasitas geser tarik kelompok baut <i>flange</i> (N)
ϕN_{bf}	:	Kapasitas tarik kekuatan tumpu lubang <i>flange</i> kolom (N)
ϕN_{bi}	:	Kapasitas tarik kekuatan tumpu lubang pelat penyambung <i>flange</i> (N)
ϕN_{biw}	:	Kapasitas tekan kekuatan tumpu lubang <i>web</i> pada pelat penyambung <i>web</i> (N)
ϕN_{bw}	:	Kapasitas tekan kekuatan tumpu lubang <i>web</i> pada <i>web</i> kolom (N)
ϕN_{bweb}	:	Kapasitas tekan baut (N)
ϕN_{cf}	:	Kapasitas tekan sambungan <i>flange</i> (N)
ϕN_{cw}	:	Kapasitas tekan sambungan <i>web</i> (N)
ϕN_f	:	Kapasitas tarik bagian <i>flange</i> (N)
ϕN_{ft}	:	Desain kapasitas tarik sambungan <i>flange</i> (N)
ϕN_{gciw}	:	Kapasitas tekan leleh pelat penyambung <i>web</i> (N)
ϕN_{gtf}	:	Kapasitas tarik leleh <i>flange</i> kolom (N)
ϕN_{gti}	:	Kapasitas tarik leleh pelat penyambung <i>flange</i> (N)
ϕN_{splice}	:	Desain kapasitas tekan sambungan <i>splices</i> (N)
ϕN_{ti}	:	Kapasitas tarik pelat penyambung <i>flange</i> (N)

$\emptyset M_c$:	Kapasitas momen tekan sambungan <i>flange</i> (Nmm)
$\emptyset M_t$:	Kapasitas momen tarik sambungan <i>flange</i> (Nmm)
$\emptyset M_{rcon}$:	Kapasitas momen sambungan <i>flange</i> akibat beban aksial (Nmm)
$\emptyset V_{bi}$:	Kapasitas resultan geser tumpuan lubang baut pada pelat penyambung <i>web</i> (N)
$\emptyset V_{bw}$:	Kapasitas resultan geser tumpuan lubang baut pada <i>web</i> kolom (N)
$\emptyset V_{con}$:	Kapasitas geser sambungan <i>web</i> akibat gaya geser (N)
$\emptyset V_f$:	Kapasitas geser baut <i>web</i> terhadap bidang geser (N)
$\emptyset V_{fb}$:	Kapasitas resultan gaya geser baut dan tumpuan baut (N)
$\emptyset V_{fn}$:	Kekuatan geser baut nominal (N)
$\emptyset V_{gfi}$:	Kapasitas kekuatan lentur leleh pelat penyambung <i>web</i> (N)
$\emptyset V_{gsb}$:	Kapasitas kekuatan geser leleh <i>web</i> kolom (N)
$\emptyset V_{gsi}$:	Kapasitas kekuatan geser leleh pelat penyambung <i>web</i> (N)
$\emptyset V_{nfi}$:	Kapasitas kekuatan lentur ultimit pelat penyambung <i>web</i> (N)
$\emptyset V_{nsi}$:	Kapasitas kekuatan geser ultimit pelat penyambung <i>web</i> (N)
$\emptyset V_{ls}$:	Kapasitas geser sobek arah longitudinal lubang baut (N)
$\emptyset V_{ts}$:	Kapasitas geser sobek arah transversal lubang baut (N)

$\emptyset V_{tti}$: Kapasitas geser sobek arah transversal lubang baut pada pelat penyambung *web* (N)

$\emptyset V_{ttw}$: Kapasitas geser sobek arah transversal lubang baut pada *web* kolom (N)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sambungan <i>Splices</i> Pada Kolom Baja	1-1
Gambar 1.2 Sambungan <i>Splices</i> Las, Baut, dan Kombinasi Las dan Baut.....	1-2
Gambar 1.3 Contoh Pemodelan Yang Dilakukan Pada Umumnya	1-3
Gambar 1.4 Ilustrasi Deformasi Kolom Akibat Beban Lateral.....	1-3
Gambar 1.5 Skematik Pemodelan.....	1-5
Gambar 1.6 Skematik Pemodelan (Lanjutan).....	1-6
Gambar 1.7 Sambungan <i>flange</i> Tipe <i>Bolted Compression Splices 1</i> dan <i>Bolted Compression Splices 2</i>	1-6
Gambar 1.8 Diagram Alir Penelitian	1-9
Gambar 2.1 Kurva Tegangan-Regangan Material Baja Struktural.....	2-1
Gambar 2.2 Kriteria Leleh Energi Distorsi Huber-von Mises-Hencky	2-3
Gambar 2.3 Parameter dalam perhitungan faktor bentuk α	2-5
Gambar 2.4 Ilustrasi Gambar Baut dan Mur.....	2-5
Gambar 2.5 Elemen <i>Shell</i> Konvensional dan Elemen <i>Shell</i> Menerus	2-13
Gambar 2.6 Elemen <i>Wire</i> Yang Menghubungkan Beberapa Titik	2-13
Gambar 3.1 Ilustrasi Tampak Atas, Samping, dan Depan Beserta Parameter Yang Digunakan Dalam Perhitungan Sambungan BCS-1	3-2
Gambar 3.2 Ilustrasi Tampak Atas, Samping, dan Depan Beserta Parameter Yang Digunakan Dalam Perhitungan Sambungan BCS-2	3-3
Gambar 3.3 Tampak Atas, Depan, dan Samping Sambungan BCS-1A	3-19
Gambar 3.4 Tampak Tiga Dimensi Sambungan BCS-1A	3-19
Gambar 3.5 Tampak Atas, Depan, dan Samping Sambungan BCS-1B	3-20

Gambar 3.6 Tampak Tiga Dimensi Sambungan BCS-1B	3-20
Gambar 3.7 Tampak Atas, Depan, dan Samping Sambungan BCS-2A	3-21
Gambar 3.8 Tampak Tiga Dimensi Sambungan BCS-2A	3-21
Gambar 3.9 Tampak Atas, Depan, dan Samping Sambungan BCS-2B	3-22
Gambar 3.10 Tampak Tiga Dimensi Sambungan BCS-2B	3-22
Gambar 4.1 Skematik Pemodelan Numerik.....	4-2
Gambar 4.2 Skematik Pemodelan Numerik (Lanjutan).....	4-3
Gambar 4.3 Kurva Bilinear Baja BJ-37	4-3
Gambar 4.4 Tampak Tiga Dimensi Model Kolom Tanpa Sambungan	4-4
Gambar 4.5 Tampak Tiga Dimensi Model BCS-1A (2m).....	4-5
Gambar 4.6 Tampak Atas Model BCS-1A (2m)	4-5
Gambar 4.7 Tampak Depan Model BCS-1A (2m)	4-5
Gambar 4.8 Tampak Tiga Dimensi Model BCS-1B (2m)	4-6
Gambar 4.9 Tampak Atas Model BCS-1B (2m).....	4-6
Gambar 4.10 Tampak Depan Model BCS-1B (2m).....	4-6
Gambar 4.11 Tampak Tiga Dimensi Model BCS-2A (2m).....	4-7
Gambar 4.12 Tampak Atas Model BCS-2A (2m)	4-7
Gambar 4.13 Tampak Depan Model BCS-2A (2m)	4-7
Gambar 4.14 Tampak Tiga Dimensi Model BCS-2B (2m).....	4-8
Gambar 4.15 Tampak Atas Model BCS-2B (2m).....	4-8
Gambar 4.16 Tampak Depan Model BCS-2B (2m).....	4-8
Gambar 4.17 Tampak Tiga Dimensi Model BCS-1A (1.2m).....	4-9
Gambar 4.18 Tampak Atas Model BCS-1A (1.2m)	4-9
Gambar 4.19 Tampak Depan Model BCS-1A (1.2m)	4-9

Gambar 4.20 Tampak Tiga Dimensi Model BCS-1B (1.2m).....	4-10
Gambar 4.21 Tampak Atas Model BCS-1B (1.2m).....	4-10
Gambar 4.22 Tampak Depan Model BCS-1B (1.2m).....	4-10
Gambar 4.23 Tampak Tiga Dimensi Model BCS-2A (1.2m).....	4-11
Gambar 4.24 Tampak Atas Model BCS-2A (1.2m)	4-11
Gambar 4.25 Tampak Depan Model BCS-2A (1.2m)	4-11
Gambar 4.26 Tampak Tiga Dimensi Model BCS-2B (1.2m).....	4-12
Gambar 4.27 Tampak Atas Model BCS-2B (1.2m).....	4-12
Gambar 4.28 Tampak Depan Model BCS-2B (1.2m).....	4-12
Gambar 4.29 Skematik Pemodelan Elemen <i>Wire</i> dan Elemen <i>Connector</i>	4-13
Gambar 4.30 Pemodelan Elemen <i>Wire</i> Pada Model BCS-1A	4-13
Gambar 4.31 Pemodelan Elemen <i>Connector</i> Pada Model BCS-1A.....	4-14
Gambar 4.32 Pemodelan Elemen <i>Wire</i> Pada Model BCS-1B	4-14
Gambar 4.33 Pemodelan Elemen <i>Connector</i> Pada Model BCS-1B	4-15
Gambar 4.34 Pemodelan Elemen <i>Wire</i> Pada Model BCS-2A.....	4-15
Gambar 4.35 Pemodelan Elemen <i>Connector</i> Pada Model BCS-2A.....	4-16
Gambar 4.36 Pemodelan Elemen <i>Wire</i> Pada Model BCS-2B	4-16
Gambar 4.37 Pemodelan Elemen <i>Connector</i> Pada Model BCS-2B	4-17
Gambar 4.38 Skematik Pemodelan <i>Contact Surface</i> Bagian <i>Flange</i>	4-17
Gambar 4.39 Skematik Pemodelan <i>Contact Surface</i> Bagian <i>Web</i>	4-18
Gambar 4.40 Contoh Pemodelan <i>Contact Surface</i> Konfigurasi BCS-1A	4-18
Gambar 4.41 Contoh Pemodelan <i>Contact Surface</i> Konfigurasi BCS-1B.....	4-18
Gambar 4.42 Contoh Pemodelan <i>Contact Surface</i> Konfigurasi BCS-2A	4-19
Gambar 4.43 Contoh Pemodelan <i>Contact Surface</i> Konfigurasi BCS-2B.....	4-19

Gambar 4.44 Pemodelan Perletakan Jepit.....	4-20
Gambar 4.45 Pemodelan Perletakan Jepit Rol.....	4-20
Gambar 4.46 Kurva Perpindahan vs Gaya Untuk Setiap Ukuran Mesh.....	4-21
Gambar 4.47 Pemodelan <i>Mesh</i> Pada Kolom WF.....	4-22
Gambar 4.48 Pemodelan <i>Mesh</i> Pada Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-1.....	4-22
Gambar 4.49 Pemodelan <i>Mesh</i> Pada Pelat Penyambung <i>Flange</i> Luar BCS-2.....	4-23
Gambar 4.50 Pemodelan <i>Mesh</i> Pada Pelat Penyambung <i>Flange</i> Dalam BCS-2.....	4-23
Gambar 4.51 Pemodelan <i>Mesh</i> Pada Pelat Penyambung <i>Web</i> Tipe B.....	4-24
Gambar 4.52 Pemodelan <i>Mesh</i> Pada Pelat Penyambung <i>Web</i> Tipe A.....	4-24
Gambar 4.53 Contoh Pemodelan <i>Mesh</i> Pada Model BCS-2B (1.2m).....	4-25
Gambar 4.54 Contoh Pemodelan <i>Mesh</i> Pada Model BCS-2B (2m).....	4-25
Gambar 5.1 Pembebanan Untuk Analisis Statik Non-Linear.....	5-1
Gambar 5.2 <i>Output</i> Analisis Kolom Tanpa Sambungan.....	5-2
Gambar 5.3 <i>Output</i> Analisis Kolom Dengan Konfigurasi BCS-1A (2m).....	5-2
Gambar 5.4 <i>Output</i> Analisis Kolom Dengan Konfigurasi BCS-1B (2m).....	5-3
Gambar 5.5 <i>Output</i> Analisis Kolom Dengan Konfigurasi BCS-2A (2m).....	5-3
Gambar 5.6 <i>Output</i> Analisis Kolom Dengan Konfigurasi BCS-2B (2m).....	5-3
Gambar 5.7 <i>Output</i> Analisis Kolom Dengan Konfigurasi BCS-1A (1.2m).....	5-4
Gambar 5.8 <i>Output</i> Analisis Kolom Dengan Konfigurasi BCS-1B (1.2m).....	5-4
Gambar 5.9 <i>Output</i> Analisis Kolom Dengan Konfigurasi BCS-2A (1.2m).....	5-4
Gambar 5.10 <i>Output</i> Analisis Kolom Dengan Konfigurasi BCS-2B (1.2m).....	5-5
Gambar 5.11 Kurva Perpindahan vs Gaya Untuk Setiap Model Pengujian.....	5-7
Gambar 5.12 Ilustrasi Contoh Skematik Pemodelan Model Yang Dimodifikasi.....	5-9
Gambar 5.13 Kurva Gaya vs Perpindahan BCS-1A (2m) Yang Dimodifikasi.....	5-11

Gambar 5.14 Kurva Gaya vs Perpindahan BCS-1B (2m) Yang Dimodifikasi.....	5-11
Gambar 5.15 Kurva Gaya vs Perpindahan BCS-2A (2m) Yang Dimodifikasi	5-11
Gambar 5.16 Kurva Gaya vs Perpindahan BCS-2B (2m) Yang Dimodifikasi.....	5-12
Gambar 5.17 Kurva Gaya vs Perpindahan BCS-1A (1.2m) Yang Dimodifikasi	5-12
Gambar 5.18 Kurva Gaya vs Perpindahan BCS-1B (1.2m) Yang Dimodifikasi.....	5-12
Gambar 5.19 Kurva Gaya vs Perpindahan BCS-2A (1.2m) Yang Dimodifikasi	5-12
Gambar 5.20 Kurva Gaya vs Perpindahan BCS-2B (1.2m) Yang Dimodifikasi.....	5-13
Gambar 5.21 Konfigurasi Sambungan <i>Flange</i> Tipe 1	5-13
Gambar 5.22 Konfigurasi Sambungan <i>Flange</i> Tipe 2	5-14
Gambar 5.23 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-1A (2m)	5-16
Gambar 5.24 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-1B (2m)	5-16
Gambar 5.25 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-2A (2m)	5-17
Gambar 5.26 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-2B (2m)	5-17
Gambar 5.27 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-1A (1.2m) ...	5-17
Gambar 5.28 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-1B (1.2m) ...	5-18
Gambar 5.29 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-2A (1.2m) ...	5-18
Gambar 5.30 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Flange</i> BCS-2B (1.2m) ...	5-18
Gambar 5.31 Konfigurasi Sambungan <i>Web</i> Tipe A.....	5-19
Gambar 5.32 Konfigurasi Sambungan <i>Web</i> Tipe B	5-19
Gambar 5.33 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Web</i> BCS-1A (2m).....	5-22
Gambar 5.34 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Web</i> BCS-1B (2m).....	5-22
Gambar 5.35 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Web</i> BCS-2A (2m).....	5-22
Gambar 5.36 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Web</i> BCS-2B (2m).....	5-23
Gambar 5.37 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung <i>Web</i> BCS-1A (1.2m).....	5-23

Gambar 5.38 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung *Web* BCS-1B (1.2m).....5-23

Gambar 5.39 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung *Web* BCS-2A (1.2m).....5-24

Gambar 5.40 Tegangan Von-Mises Pelat Penyambung *Web* BCS-2B (1.2m).....5-24

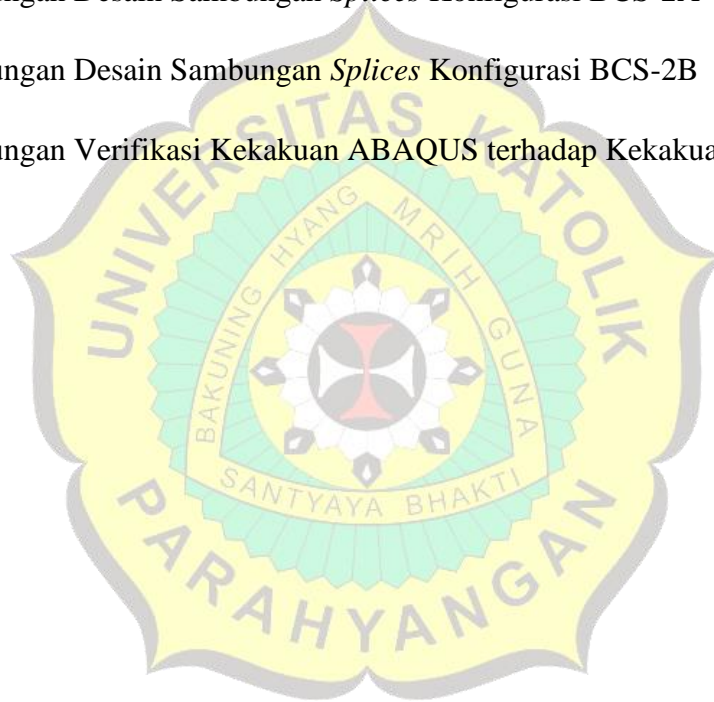


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kekuatan Tarik dan Geser Nominal Baut	2-6
Tabel 2.2 Persyaratan Gaya Pratarik Minimum	2-7
Tabel 2.3 Persyaratan Ukuran Lubang Baut	2-8
Tabel 2.4 Persyaratan Jarak Ujung Minimum.....	2-9
Tabel 2.5 Tipe Elemen <i>Connector</i>	2-14
Tabel 3.1 Spesifikasi Sambungan <i>Web</i> Tipe A.....	3-17
Tabel 3.2 Spesifikasi Sambungan <i>Web</i> Tipe B	3-17
Tabel 3.4 Spesifikasi Sambungan <i>Flange</i> Tipe 1	3-18
Tabel 3.5 Spesifikasi Sambungan <i>Flange</i> Tipe 2	3-18
Tabel 4.1 Nilai Perpindahan dan Gaya Untuk Setiap Ukuran <i>Mesh</i>	4-21
Tabel 5.1 Perbandingan Kekakuan Kolom Tanpa Sambungan Terhadap Kolom Dengan Sambungan.....	5-6
Tabel 5.2 Perbandingan Kekakuan Kolom Dengan Sambungan Sesuai Dengan Lokasi Pemasangan Sambungan.....	5-8
Tabel 5.3 Perbandingan Kekakuan Model Kolom Yang Dimodifikasi	5-10
Tabel 5.4 Perbandingan Kekakuan Kolom Dengan Sambungan <i>Flange</i> Tipe 1 dan 2	5-14
Tabel 5.5 Tegangan Sambungan <i>Flange</i> Tipe 1 dan 2.....	5-15
Tabel 5.6 Perbandingan Kekakuan Kolom Dengan Sambungan <i>Web</i> Tipe A dan B ..	5-20
Tabel 5.7 Tegangan Sambungan <i>Web</i> Tipe A dan B	5-20

DAFTAR LAMPIRAN

1. Perhitungan Pemeriksaan Kapasitas Kolom
2. Perhitungan Desain Sambungan *Splices* Konfigurasi BCS-1A
3. Perhitungan Desain Sambungan *Splices* Konfigurasi BCS-1B
4. Perhitungan Desain Sambungan *Splices* Konfigurasi BCS-2A
5. Perhitungan Desain Sambungan *Splices* Konfigurasi BCS-2B
6. Perhitungan Verifikasi Kekakuan ABAQUS terhadap Kekakuan Teoritis



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

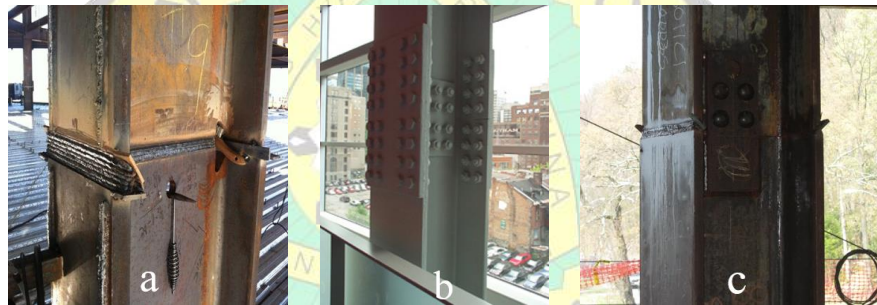
Pada konstruksi bangunan baja, sering ditemukan adanya sambungan *splices* pada kolom baja berpenampang WF. Sambungan *splices* tersebut biasanya digunakan pada konstruksi bangunan baja yang memiliki 2 lantai atau lebih. Profil kolom baja berpenampang WF pada umumnya hanya tersedia dengan panjang 6 m dan 12 m karena keterbatasan panjang kendaraan pengirim, sehingga untuk mencapai tinggi bangunan yang diinginkan diperlukan sambungan *splices* untuk menyambung kolom tersebut. Contoh sambungan *splices* pada kolom baja dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Sambungan *Splices* Pada Kolom Baja
(sumber : Engelhart, Ph.D. , 2007)

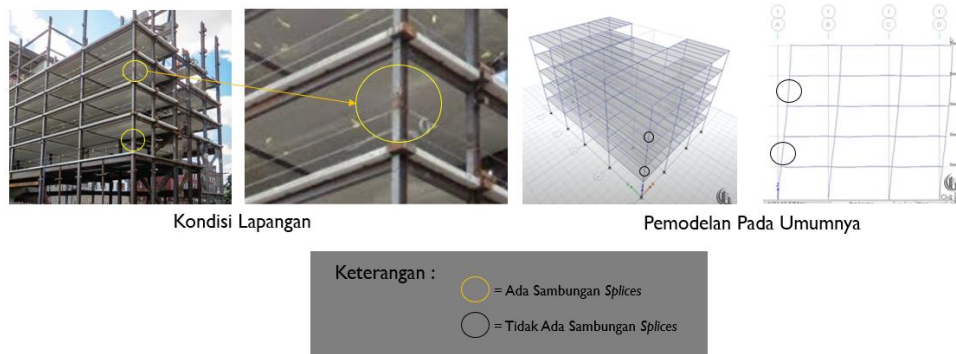
Sambungan *splices* pada kolom baja dapat berupa sambungan las, sambungan baut , atau kombinasi antara sambungan las dan baut. Jenis-jenis sambungan *splices* tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.2. Sambungan *splices* menggunakan konsep desain dimana *web* akan mentransfer gaya geser sedangkan *flange* akan mentransfer gaya momen. Namun dengan adanya sambungan *splices* kekakuan lateral kolom tersebut dapat tereduksi, terutama pada sambungan *splices* baut karena sambungan

splices baut memiliki kekakuan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan las (HERA, 2003). Sambungan *splices* las akan berperilaku sebagai sambungan *rigid*, sehingga jika dibandingkan dengan sambungan *splices* baut akan lebih mudah terjadi rotasi pada sambungan *splices* baut (Ladani et al., 2019). Menurut FEMA (2000), sambungan *web* menggunakan baut kurang efisien dalam mentransfer gaya geser sehingga dapat mengakibatkan tekuk tambahan dibagian *flange* dan meningkatkan kemungkinan retak prematur. Selain itu, kekakuan geser sambungan *web* dengan baut lebih rendah jika dibandingkan dengan sambungan *web* menggunakan las. Pada penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Shaw et al. (2015), sambungan *splices* dengan las penuh pada *web* dan *flange* memiliki kapasitas momen maksimum dan gaya geser maksimum yang lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan sambungan *splices* baut pada *web* dan las pada *flange*.



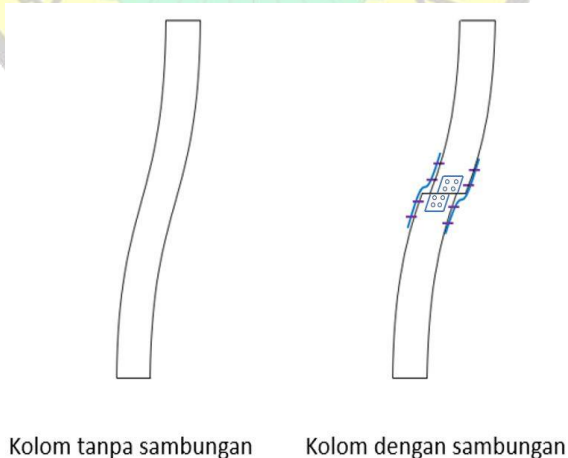
Gambar 1.2 Sambungan *Splices* Las (a), Baut (b), dan Kombinasi Las dan Baut (c) (sumber : MZA, 2012)

Dalam konstruksi bangunan baja, secara teknis sambungan *splices* digunakan dilapangan untuk menyambung kolom baja. Tetapi dalam pemodelan dan analisis struktur, kolom baja yang disambung pada umumnya dimodelkan dan dianalisis sebagai satu garis lurus tanpa adanya sambungan *splices*. Kolom yang dimodelkan dan dianalisis sebagai satu garis lurus akan memiliki kekakuan lateral yang lebih tinggi karena tidak memodelkan dan menganalisis pengaruh dari sambungan *splices* yang dapat mereduksi kekakuan lateral kolom. Kolom baja dikondisi lapangan dan pemodelan pada umumnya dapat dilihat pada Gambar 1.3



Gambar 1.3 Contoh Pemodelan Yang Dilakukan Pada Umumnya

Dalam beberapa desain prosedur seperti AISC 341-16 dan HERA 2003 , analisis pada sambungan *splices* hanya mempertimbangkan aspek kekuatan tanpa mempertimbangkan aspek kekakuan. Jika sambungan *splices* sudah cukup kuat menahan gaya yang terjadi tetapi tidak cukup kaku, maka dapat terjadi deformasi yang cukup besar pada pelat-pelat penyambung sehingga dapat berpengaruh pada kekakuan struktur. Dengan berkurangnya kekakuan struktur suatu lantai akibat adanya sambungan *splices*, simpangan setiap lantai berkemungkinan melebihi simpangan izin yang telah ditetapkan. Ilustrasi deformasi kolom akibat beban lateral dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Ilustrasi Deformasi Kolom Akibat Beban Lateral

1.2 Inti Permasalahan

Dari latar belakang tersebut, terdapat perbedaan antara kolom dengan sambungan *splices* dikondisi lapangan dan pada saat pemodelan. Reduksi kekakuan akibat adanya sambungan *splices* harus dikaji dan diperiksa karena sambungan *splices* tidak termodelkan pada saat pemodelan dan analisis struktur.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian skripsi ini adalah :

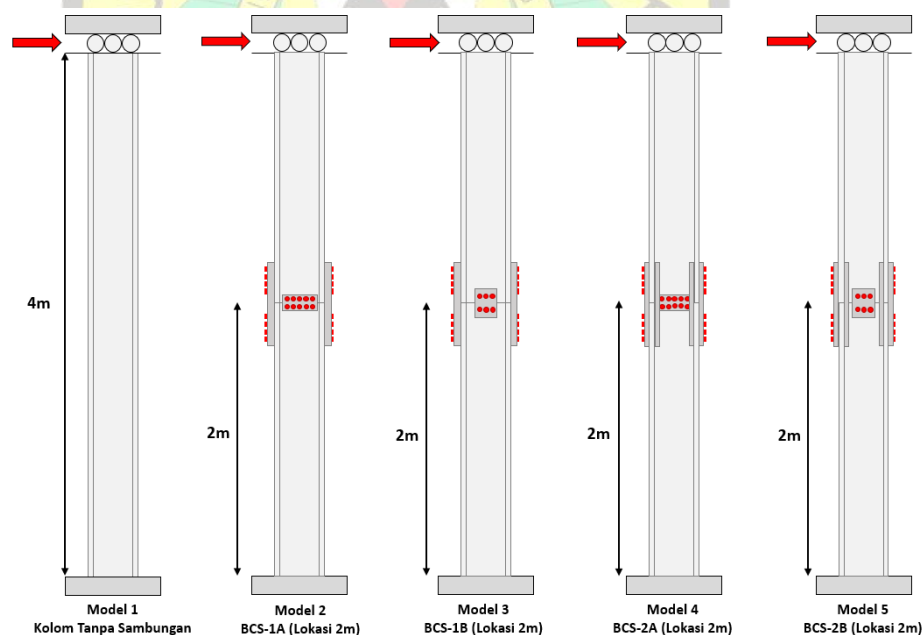
1. Mendesain sambungan *splices* dengan baut sesuai dengan desain prosedur HERA (2003).
2. Memodelkan dan menganalisis kekakuan lateral kolom dengan sambungan *splices* baut akibat pembebanan lateral dengan variasi konfigurasi dan lokasi sambungan *splices*.
3. Mengevaluasi dan merekomendasi pengaruh reduksi kekakuan lateral kolom dengan sambungan *splices* akibat pembebanan lateral.

1.4 Pembatasan Masalah

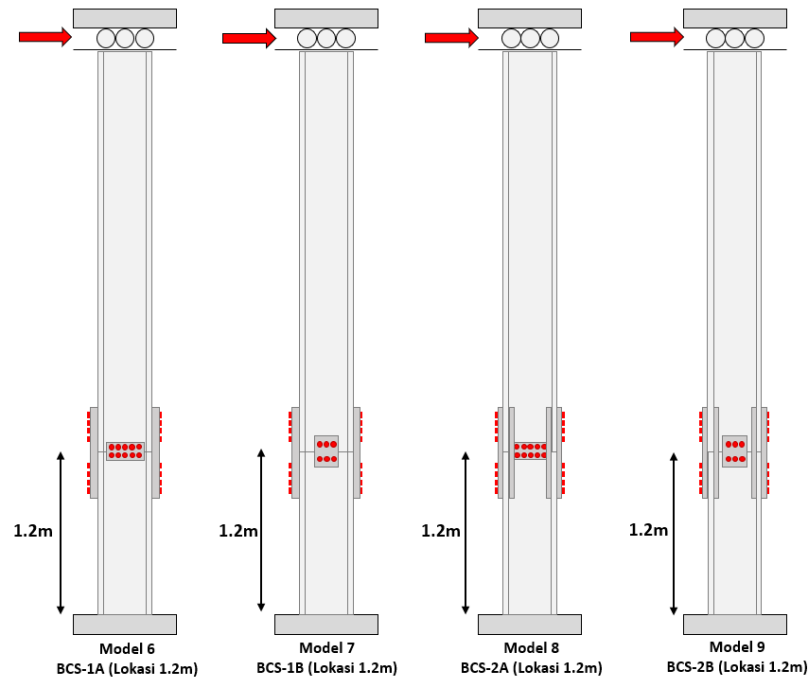
Pembatasan Masalah pada penulisan skripsi ini adalah :

1. Pemodelan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak ABAQUS.
2. Kolom yang disambung satu sama lain menggunakan baja profil HWF dengan dimensi yang identik.
3. *Web*, *flange* dan pelat penyambung sambungan dimodelkan sebagai elemen *shell* sedangkan baut dimodelkan sebagai elemen *connector*
4. Desain sambungan *splices* akan mengacu pada desain prosedur HERA 2003.
5. Profil HWF yang digunakan sebagai kolom adalah profil JIS (*Japanese Industrial Standard*) dengan dimensi : 356x352x14x22 mm dengan asumsi tinggi kolom 4 m
6. Spesifikasi kolom profil HWF dan pelat penyambung yang digunakan :
Mutu : BJ- 37 ($F_y = 240$ MPa, $F_u = 370$ MPa, $\nu = 0.3$, $E = 200000$ MPa)

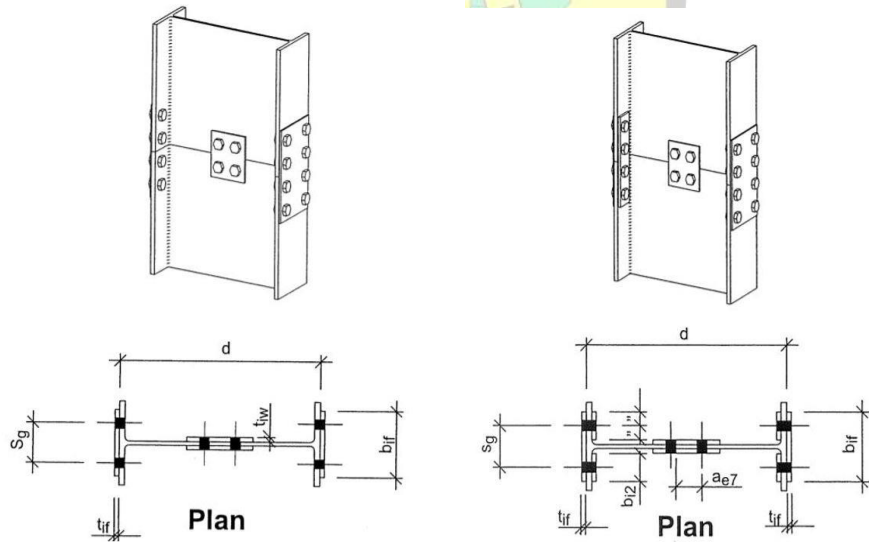
7. Spesifikasi baut yang digunakan dalam desain :
- Mutu : A490 Kelas B (ada bagian berulir dibagian bidang sambungan)
 ($F_{nt} : 780 \text{ MPa}$, $F_{nv} : 469 \text{ MPa}$)
8. Skematik Pemodelan kolom dengan sambungan *splices* baut dan kolom tanpa sambungan menggunakan perletakan jepit - jepit rol dengan pembebanan lateral diujung atas kolom. Konfigurasi sambungan *flange* yang digunakan mengikuti konfigurasi sambungan *Bolted Compression Splices 1* dan *Bolted Compression Splices 2* yang tertera pada desain prosedur HERA 2003 seperti pada Gambar 1.7. Konfigurasi sambungan *web* didesain sedemikian rupa agar menggunakan baut yang menyebar ke tepi (tipe A) dan menggunakan baut yang mengumpul di tengah (tipe B). Lokasi sambungan *splices* menggunakan variasi pemasangan di tengah kolom (2 m) dan pemasangan di 1.2 m dari pertemuan balok-kolom (sesuai ketentuan AISC 341-16). Skematik pemodelan dapat dilihat pada Gambar 1.5 dan Gambar 1.6



Gambar 1.5 Skematik Pemodelan



Gambar 1.6 Skematik Pemodelan (Lanjutan)



Gambar 1.7 Sambungan *flange* Tipe *Bolted Compression Splices 1* dan *Bolted Compression Splices 2*
(sumber: HERA Report R4-100.1, 2003)

1.5 Metode Penelitian

Metode Penelitian dalam pembuatan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan pada makalah penelitian, buku, peraturan AISC 341-16, dan paduan desain sambungan *splices* yang dikeluarkan oleh HERA (2003) yang ada hubungannya dengan penelitian sehingga dapat memperoleh dasar teori mengenai sambungan *splices* dengan baut, kekakuan lateral, dan perilaku sambungan *splices* pada kolom akibat pembebanan lateral.

2. Analisis Numerik

Pada penelitian ini, pemodelan numerik dibantu oleh perangkat lunak ABAQUS dan hasil pemodelan numerik dari perangkat lunak tersebut akan dianalisis.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. BAB 1 PENDAHULUAN

membahas mengenai latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

2. BAB 2 DASAR TEORI

membahas mengenai landasan teori yang menjadi dasar penelitian yang akan digunakan dalam analisis dan perhitungan studi.

3. BAB 3 DESAIN SAMBUNGAN *SPLICES*

membahas mengenai rumus-rumus perhitungan yang digunakan dan tahapan-tahapan desain sambungan *splices*.

4. BAB 4 PEMODELAN NUMERIK

membahas mengenai pemodelan numerik kolom dengan sambungan *splices* baut dan kolom tanpa sambungan menggunakan perangkat lunak ABAQUS.

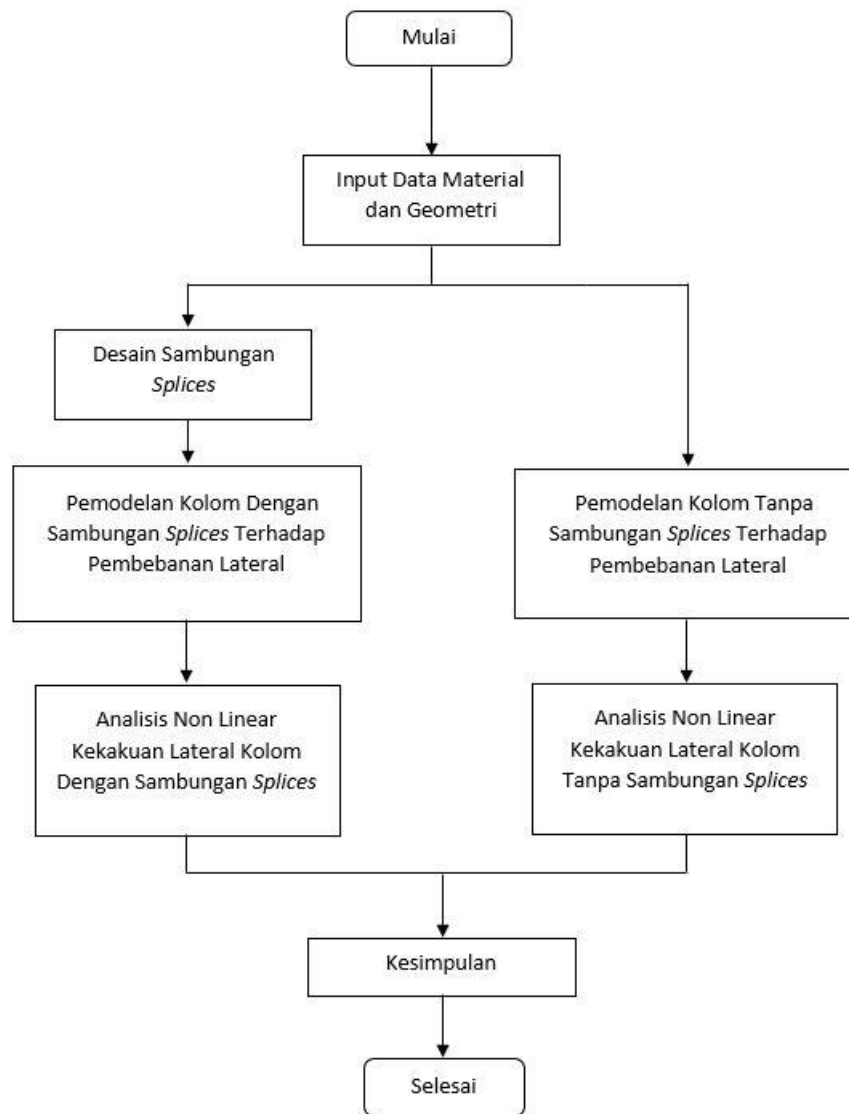
5. BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

membahas dan menganalisis hasil pemodelan numerik dengan metode elemen hingga dan memeriksa pengaruh sambungan *splices* terhadap kekakuan lateral kolom baja.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

membahas mengenai kesimpulan hasil analisis pembahasan BAB 5 dan saran-saran berdasarkan hasil yang didapatkan pada penelitian yang telah dilakukan.





Gambar 1.8 Diagram Alir Penelitian

