

**SKRIPSI**

**STUDI TEKUK TORSI-LATERAL BALOK BAJA I  
WEB TAPERED DENGAN BEBAN MERATA DAN TERPUSAT  
MENGUNAKAN ANALISIS KERUNTUHAN**



**LINTANG AYU DEWINTASARI HARDIANTO  
NPM : 2015410098**

**PEMBIMBING: Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.**

**KO-PEMBIMBING: Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)  
BANDUNG  
JANUARI 2019**

**SKRIPSI**

**STUDI TEKUK TORSI-LATERAL BALOK BAJA I *WEB*  
*TAPERED* DENGAN BEBAN MERATA DAN TERPUSAT  
MENGUNAKAN ANALISIS KERUNTUHAN**



**LINTANG AYU DEWINTASARI HARDIANTO  
NPM : 2015410098**

**BANDUNG, 7 JANUARI 2019**

**KO-PEMBIMBING:**

**Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc.**

**PEMBIMBING:**

**Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VI/2018)  
BANDUNG  
JANUARI 2019**

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Lintang Ayu Dewintasari Hardianto

NPM : 2015410098

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul : "Studi Tekuk Torsi-Lateral Balok Baja I *Web Tapered* dengan Beban Merata dan Terpusat Menggunakan Analisis Keruntuhan" adalah benar-benar karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari ditemukan plagiarisme dalam 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.

Bandung, 4 Januari 2019



Lintang Ayu Dewintasari Hardianto

2015410098

# **STUDI TEKUK TORSI-LATERAL BALOK BAJA I WEB TAPERED DENGAN DENGAN BEBAN MERATA DAN TERPUSAT MENGGUNAKAN ANALISIS KERUNTUHAN**

**Lintang Ayu Dewintasari Hardianto  
NPM: 2015410098**

**Pembimbing: Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.  
Ko-Pembimbing: Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)  
BANDUNG  
JANUARI 2019**

## **ABSTRAK**

Baja non-prismatis *web tapered* sering digunakan dalam struktur karena dinilai lebih ekonomis. Hal tersebut dikarenakan bentuk dari balok *web tapered* mengikuti besarnya momen yang terjadi sehingga material baja yang digunakan lebih efisien. Persamaan momen kritis AISC 260-2010, hanya berlaku untuk balok prismatis. Sedangkan persamaan yang tersedia pada 25 *Steel Design Guide* hanya berlaku untuk balok *web tapered* yang mengalami momen ujung. Studi ini dilakukan dengan menganalisa perbandingan momen kritis yang mengakibatkan tekuk torsi-lateral antara balok *web tapered* dengan balok baja-I prismatis sehingga diperoleh faktor reduksi momen kritis yang dapat diaplikasikan pada persamaan AISC. Variasi terhadap model dilakukan terhadap ketinggian *web tapered* dan panjang balok. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah elemen hingga dengan bantuan program ADINA v9.3.3. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa momen kritis yang dihasilkan dari balok *web tapered* tidak selalu menurun seiring dengan bertambahnya rasio antara tinggi minimum dengan tinggi maksimum web. Kembali naiknya nilai momen kritis balok *web tapered* untuk satu variasi tinggi maksimum dipengaruhi oleh panjang balok. Dari hasil momen kritis dapat dilihat bahwa faktor yang paling mempengaruhi adalah panjang bentang, sehingga digunakan  $L_b$  sebagai faktor yang menentukan koefisien reduksi. Data momen kritis yang dihasilkan kemudian diregresi untuk mendapatkan persamaan faktor modifikasi.

Kata Kunci: Tekuk Torsi-Lateral, *Web Tapered Beam*, Momen Kritis.

# **STUDY ON LATERAL-TORSIONAL BUCKLING OF WEB TAPERED STEEL I-BEAM WITH UNIFORM LOAD AND POINT LOAD USING COLLAPSED ANALYSIS**

**Lintang Ayu Dewintasari Hardianto  
NPM: 2015410098**

**Advisor: Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.  
Co-Advisor: Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc.**

**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 2019**

## **ABSTRACT**

Non-prismatic web tapered steel is often used for structure because it is considered more economical. This because the shape of the web tapered beam follows the diagram of the moment that occurs so that the steel material used is more efficient. The critical moment equation from AISC 260-2016, only applies to prismatic beams. Whereas the equations available on the 25 Steel Design Guide only apply to tapered web beams with end moments. This study was conducted by analyzing the comparison of critical moments which resulted in lateral-torsional buckling between web tapered beam and prismatic I-steel beams so that critical moment reduction factors were obtained, which could be applied to the AISC equation. Variations on the model are the height of the web tapered and the length of the beam. The method used in this study is the finite element method using ADINA v9.3.3 program. The results showed that the critical moments of web tapered beams did not always decrease as the ratio between the minimum height and the maximum web height increased. The rise of the critical moment value of the web tapered beam for a maximum variation of height is affected by the length of the beam. From the results of the critical moment it can be seen that the most influencing factor is the length of the span, so  $L_b$  is used as the factor that determines the reduction coefficient. The resulting critical moment data is then regressed to obtain the modification factor equation.

Keywords: Lateral Torsional Buckling, *Web tapered* Beam, Critical Moment.

## **PRAKATA**

Puji syukur kepada Allah S.W.T atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Studi Tekuk Torsi Lateral Balok Baja I Web Tapered dengan Beban Merata dan Terpusat Menggunakan Analisis Keruntuhan*

Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-1 di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menemui banyak tantangan dan hambatan, namun berkat motivasi, kritik, serta saran dari berbagai pihak, skripsi ini dapat diselesaikan. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc. selaku dosen pembimbing dalam pembuatan skripsi ini yang telah senantiasa memberikan masukan dan pengetahuan yang berharga sehingga skripsi ini terselesaikan.
2. Ibu Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc. selaku dosen ko-pembimbing dalam pembuatan skripsi ini yang telah membimbing penulis sehingga skripsi ini selesai
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang berharga dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Ir. Nenny Samudra, M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang berharga dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Hardianto, Ibu Arry Yuliana Haryanti, Wulan Ayu D.H. dan S. Sekar Ayu A.H. yang telah memberi dukungan dan mendoakan penulis dengan penuh kasih sayang dan kesabaran.
6. Evelyn, Kelsen, Nathanael, yang telah menemani dan memberikan waktunya untuk penulis selama berada di Universitas Katolik Parahyangan.
7. UBB dan teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2015 yang telah memberi semangat kepada penulis dalam pembuatan skripsi ini.
8. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan kontribusi dalam pembuatan skripsi.

Dengan selesainya penyusunan skripsi ini, penulis berharap semoga skripsi ini dapat menjadi manfaat bagi semua orang yang membacanya. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran yang dapat berguna untuk melengkapi skripsi ini.

Bandung, 4 Januari 2019



Lintang Ayu Dewintasari Hardianto

2015410098

# DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1-1</b>
1.1    Latar Belakang.....	1-1
1.2    Inti Permasalahan .....	1-5
1.3    Tujuan Penelitian.....	1-5
1.4    Pembatasan Masalah .....	1-5
1.5    Metode Penelitian .....	1-6
1.6    Sistematika Penulisan.....	1-6
<b>BAB 2 DASAR TEORI</b> .....	<b>2-1</b>
2.1    Karakteristik Material Baja .....	2-1
2.2    Tekuk Torsi-Lateral.....	2-2
2.3    Faktor Modifikasi Momen Tak Seragam .....	2-4
2.4    Batasan Kondisi Tekuk Torsi-Lateral .....	2-5
2.5    Tegangan Sisa.....	2-6
2.6    Elemen Penampang Kompak, Tidak Kompak dan Langsing.....	2-7
2.7    Balok Baja Non-Prismatis .....	2-8
2.8    Metode Elemen Hingga.....	2-9
2.9    Analisis Tekuk Linear Dan Analisis Keruntuhan.....	2-9



<b>BAB 3 PERMODELAN ELEMEN HINGGA .....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Pendahuluan.....3-1
3.2	Permodelan Balok.....3-1
3.3	Permodelan <i>Stiffener</i> .....3-3
3.4	Pembagian Elemen pada Balok ( <i>Meshing</i> ).....3-4
3.5	Permodelan Perletakan.....3-5
3.6	Panjang Bentang Balok.....3-7
3.7	Permodelan Material.....3-8
3.8	Permodelan Tegangan Sisa.....3-9
3.9	Permodelan Pembebanan Pada Balok.....3-10
3.10	Permodelan Imperfection.....3-12
<b>BAB 4 ANALISIS STUDI PARAMETER .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Analisis Hasil Perhitungan Elemen Hingga.....4-1
4.1.1.	Perbandingan Hasil Perhitungan Elemen Hingga dengan Solusi Eksak AISC sebagai Verifikasi Model yang Digunakan.....4-1
4.2	Analisis Momen Kritis Balok <i>Web Tapered</i> .....4-4
4.2.1.	Beban Merata pada Pusat Geser untuk Balok <i>Web Tapered</i> .....4-6
4.2.2.	Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Pusat Geser untuk Balok <i>Web Tapered</i> .....4-11
4.2.3.	Faktor Modifikasi Momen Kritis untuk Balok <i>Web Tapered</i> dengan Beban Transversal.....4-17
4.2.4.	Verifikasi Persamaan Faktor Modifikasi Bentuk <i>Web Tapered</i> .4-21
4.3	Analisis Pengaruh Pembebanan di Flens Atas.....4-24
4.3.1.	Beban Merata pada Pusat <i>Flens</i> Atas untuk Balok <i>Web Tapered</i> .....4-24
4.3.2.	Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Flens Atas .....4-29

4.3.3.	Faktor Modifikasi Momen Kritis Akibat Pembebanan <i>Transversal</i> di Flens Atas .....	4-36
4.3.4.	Verifikasi Persamaan Faktor Modifikasi Akibat Pembebanan pada Flens Atas .....	4-38
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>5-1</b>
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran .....	5-2
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>xvii</b>

## DAFTAR NOTASI

$B$	:	lebar <i>flens</i> (mm)
$C_b$	:	faktor modifikasi tekuk torsi lateral untuk momen tak seragam
$C_{b1}$	:	faktor modifikasi bentuk balok
$C_{b2}$	:	faktor modifikasi letak pembebanan
$C_w$	:	konstanta <i>warping</i> (mm <sup>6</sup> )
$E$	:	modulus elastisitas (MPa)
$F_L$	:	tegangan lentur pada flens yang tertekan
$f_r$	:	tegangan lentur tekan
$F_y$	:	tegangan leleh (MPa)
$G$	:	modulus geser (MPa)
$h_0$	:	jarak antara dua titik pusat flens (mm)
$I_y$	:	momen inersia terhadap sumbu lemah (mm <sup>4</sup> )
$I_x$	:	momen inersia terhadap sumbu kuat (mm <sup>4</sup> )
$J$	:	konstanta torsi (mm <sup>4</sup> )
$L_b$	:	jarak antara dua tumpuan lateral (mm)
$L_p$	:	batas tekuk torsi-lateral inelastis dan kegagalan akibat kelelahan (mm)
$L_r$	:	batas panjang antara tekuk torsi-lateral elastis dan inelastis (mm)
$M_A$	:	nilai absolut momen lentur pada $\frac{1}{4}L_b$ (kNm)
$M_B$	:	nilai absolut momen lentur pada $\frac{1}{2}L_b$ (kNm)
$M_C$	:	nilai absolut momen lentur pada $\frac{3}{4}L_b$ (kNm)
$M_{cr}$	:	momen kritis saat terjadi tekuk torsi-lateral (kNm)
$M_{max}$	:	nilai absolut momen lentur maksimum pada $L_b$ (kNm)
$M_n$	:	momen nominal (kNm)
$M_p$	:	momen plastis (kNm)
$M_{yc}$	:	momen saat terjadi kelelahan pada serat flens yang tertekan (kNm)
$R_{pc}$	:	faktor plastifikasi web

$R_{pg}$	:	faktor tekuk lentur pada web
$R_{ts}$	:	radius girasi efektif (mm)
$r_y$	:	radius girasi terhadap sumbu-y (mm)
$S_x$	:	modulus penampang terhadap sumbu kuat (mm <sup>3</sup> )
$S_{xc}$	:	modulus penampang untuk serat yang tertekan (mm <sup>3</sup> )
$tf$	:	tebal flens (mm)
$tw$	:	tebal web (mm)
$\gamma_{eLTB}$	:	tegangan tekuk torsi lateral dibagi dengan <i>compressive flexural stress</i>
$\lambda$	:	rasio lebar dan tebal dari tiap elemen penampang
$\lambda_p$	:	batas rasio lebar dan tebal elemen penampang kompak dan non- kompak
$\lambda_r$	:	batas rasio lebar dan tebal elemen penampang non-kompak dan langsing
$\sigma_T$	:	<i>true stress</i> (MPa)
$\sigma$	:	<i>engineering stress</i> (MPa)
$\epsilon_T$	:	<i>true strain</i>
$\epsilon$	:	<i>engineering strain</i>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Momen Nominal Tekuk Torsi-Lateral untuk Balok Baja Prismatis .....	2
<b>Gambar 1.2</b> Balok Web Tapered dengan Beban Terpusat dan Merata di Flens Atas .....	4
<b>Gambar 1.3</b> Balok dengan Beban Terpusat dan Merata di Pusat Geser Penampang .....	4
<b>Gambar 1.4</b> Balok Web Tapered yang Ditinjau pada 25 Steel Design Guide.....	4
<b>Gambar 2.1</b> Kurva Tegangan-Regangan Baja Karbon (Salmon, 2009).....	2-2
<b>Gambar 2.2</b> Persebaran Momen Lentur Balok dengan Beban Terpusat untuk Perhitungan $C_b$ .....	2-4
<b>Gambar 2.3</b> Momen Nominal Tekuk Torsi-lateral untuk Balok Prismatis .....	2-5
<b>Gambar 2.4</b> Distribusi Tegangan Sisa Balok Penampang IWF .....	2-7
<b>Gambar 2.5</b> Kurva Beban Kritis Balok Tapered dengan Pembebanan di Flens Atas .....	2-9
<b>Gambar 3.1</b> Penampang I dengan Tinggi Maksimum 500mm.....	3-2
<b>Gambar 3.2</b> Penampang I dengan Tinggi Maksimum 600 mm.....	3-2
<b>Gambar 3.3</b> Model Balok Web Tapered.....	3-3
<b>Gambar 3.4</b> Meshing Flens dan Web .....	3-5
<b>Gambar 3.5</b> Meshing Stiffener .....	3-5
<b>Gambar 3.6</b> Perletakan Rol.....	3-6
<b>Gambar 3.7</b> Perletakan Sendi .....	3-7
<b>Gambar 3.8</b> Kurva Engineering dan True Stress-Strain .....	3-9
<b>Gambar 3.9</b> Distribusi Tegangan Akibat Tegangan Sisa .....	3-10
<b>Gambar 3.10</b> Balok Web Tapered dengan Beban Merata pada Pusat Geser ...	3-11
<b>Gambar 3.11</b> Balok Web Tapered dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Pusat Geser .....	3-11
<b>Gambar 3.13</b> Balok Web Tapered dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Flens Atas .....	3-12
<b>Gambar 3.12</b> Balok Web Tapered dengan Beban Merata pada Flens Atas .....	3-12

<b>Gambar 4.1</b> Contoh Bentuk Tekuk Ragam Pertama Balok IWF 500x200x16x10 8m Dengan Beban Merata pada Pusat Geser .....	4-4
<b>Gambar 4.2</b> Contoh Bentuk Tekuk Ragam Pertama Balok IWF Web Tapered 500- 400 8m Dengan Beban Merata pada Pusat Geser .....	4-5
<b>Gambar 4.3</b> Kurva Load-Displacement Hasil Collapsed Analysis Program ADINA.....	4-5
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis IWF 500x200x16x10 dengan Beban Merata.....	4-7
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis IWF 600x200x17x11 dengan Beban Merata.....	4-8
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dengan Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 500mm.....	4-10
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dengan Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 600mm.....	4-10
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis IWF 500x200x16x10 dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Pusat Geser .....	4-12
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis IWF 600x200x17x11 dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Pusat Geser.....	4-13
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dengan Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 500mm.....	4-16
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dengan Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 600mm.....	4-16
<b>Gambar 4.12</b> Grafik Faktor Modifikasi Momen Kritis Balok Web Tapered Ketinggian Maksimum 500mm dan 600mm dengan Beban Merata .....	4-19
<b>Gambar 4.13</b> Kurva Regresi Faktor Modifikasi untuk Beban Merata pada Pusat Geser .....	4-20
<b>Gambar 4.14</b> Kurva Regresi Faktor Modifikasi untuk Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Pusat Geser.....	4-21

<b>Gambar 4.15</b>	Grafik Momen Kritis Balok Prismatis IWF 500×200×16×10 dengan Beban Merata di Flens Atas.....	4-25
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik Momen Kritis Balok Prismatis IWF 600×200×17×11 dengan Beban Merata di Flens Atas.....	4-26
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik Momen Kritis Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 500mm yang Mengalami Beban Merata di Flens Atas ..	4-28
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik Momen Kritis Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 600mm yang Mengalami Beban Merata di Flens Atas .....	4-28
<b>Gambar 4.19</b>	Grafik Momen Kritis Balok Prismatis IWF 500×200×16×10 dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Flens Atas .....	4-30
<b>Gambar 4.20</b>	Grafik Momen Kritis Balok Prismatis IWF 600×200×17×11 dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Flens Atas .....	4-31
<b>Gambar 4.21</b>	Grafik Momen Kritis Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 500mm yang Mengalami Beban Terpusat di Flens Atas .....	4-34
<b>Gambar 4.22</b>	Grafik Momen Kritis Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 600mm yang Mengalami Beban Terpusat di Flens Atas.....	4-34
<b>Gambar 4.23</b>	Kurva Faktor Modifikasi Momen Kritis Balok Web Tapered dengan Beban Merata pada Flens Atas .....	4-36
<b>Gambar 4.24</b>	Kurva Faktor Modifikasi Momen Kritis Balok Web Tapered dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Flens Atas .....	4-37

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Variasi Tinggi Web Minimum .....	3-3
<b>Tabel 3.2</b> Notasi Perletakan.....	3-6
<b>Tabel 3.3</b> Batasan Tekuk Torsi-Lateral Elastis dan Inelastis .....	3-7
<b>Tabel 3.4</b> Variasi Panjang Balok untuk Tekuk Torsi-Lateral Elastis dan Inelastis .....	3-8
<b>Tabel 4.1</b> Nilai $L_r$ untuk Penampang yang Ditinjau .....	4-2
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan $M_{cr}$ ADINA dengan $M_{cr}$ AISC untuk IWF 500×200×16×10 .....	4-3
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan $M_{cr}$ ADINA dengan $M_{cr}$ AISC untuk IWF 600×200×17×11 .....	4-3
<b>Tabel 4.4</b> Momen Kritis Balok Prismatis IWF 500×200×16×10 dengan Beban Merata.....	4-6
<b>Tabel 4.5</b> Momen Kritis Balok Prismatis IWF 600×200×17×11 dengan Beban Merata.....	4-7
<b>Tabel 4.6</b> Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dengan Balok Web tapered dengan Tinggi Maksimum 500mm yang Mengalami Beban Merata.....	4-9
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dengan Balok Web tapered dengan Tinggi Maksimum 600mm yang Mengalami Beban Merata.....	4-9
<b>Tabel 4.8</b> Momen Kritis Balok Prismatis IWF 500×200×16×10 dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Pusat Geser .....	4-12
<b>Tabel 4.9</b> Momen Kritis Balok Prismatis IWF 600×200×17×11 dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Pusat Geser .....	4-13
<b>Tabel 4.10</b> Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dengan Balok Web tapered dengan Tinggi Maksimum 500mm yang Mengalami Beban Terpusat .....	4-15
<b>Tabel 4.11</b> Perbandingan Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dengan Balok Web tapered dengan Tinggi Maksimum 600mm yang Mengalami Beban Terpusat .....	4-15



<b>Tabel 4.12</b> Faktor Modifikasi Balok Web tapered Ketinggian Maksimum 500mm dengan Beban Merata pada Pusat Geser .....	4-18
<b>Tabel 4.13</b> Faktor Modifikasi Balok Web Tapered Ketinggian Maksimum 600mm dengan Beban Merata pada Pusat Geser .....	4-19
<b>Tabel 4.14</b> Faktor Modifikasi Balok Web tapered Ketinggian Maksimum 500mm dan 600mm dengan Beban Terpusat pada Pusat Geser .....	4-21
<b>Tabel 4.15</b> Perbandingan Nilai $C_{b1}$ dengan $C_{b1}$ Hasil Regresi untuk Balok Web tapered dengan Beban Merata.....	4-22
<b>Tabel 4.16</b> Perbandingan Nilai $C_{b1}$ dengan $C_{b1}$ Hasil Regresi untuk Balok Web Tapered dengan Beban Terpusat.....	4-23
<b>Tabel 4.17</b> Momen Kritis Balok Prismatis IWF 500×200×16×10 dengan Beban Merata di Flens Atas .....	4-24
<b>Tabel 4.18</b> Momen Kritis Balok Prismatis IWF 600×200×17×11 dengan Beban Merata di Flens Atas .....	4-25
<b>Tabel 4.19</b> Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dan Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 500mm yang Mengalami Beban Merata di Flens Atas .....	4-27
<b>Tabel 4.20</b> Momen Kritis Balok Prismatis ADINA dan Balok Web Tapered dengan Tinggi Maksimum 600mm yang Mengalami Beban Merata di Flens Atas .....	4-27
<b>Tabel 4.21</b> Momen Kritis Balok Prismatis IWF 500×200×16×10 dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Flens Atas.....	4-30
<b>Tabel 4.22</b> Momen Kritis Balok Prismatis IWF 600×200×17×11 dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Flens Atas.....	4-30
<b>Tabel 4.23</b> Momen Kritis Balok Prismatis dan Balok Web tapered dengan Tinggi Maksimum 500mm yang Mengalami Beban Terpusat di Flens Atas.....	4-33
<b>Tabel 4.24</b> Momen Kritis Balok Prismatis dan Balok Web tapered dengan Tinggi Maksimum 600mm yang Mengalami Beban Terpusat di Flens Atas.....	4-33
<b>Tabel 4.25</b> Faktor Modifikasi Momen Kritis Balok Web Tapered dengan Beban Merata pada Flens Atas.....	4-36

<b>Tabel 4.26</b> Faktor Modifikasi Momen Kritis Balok Web Tapered dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang pada Flens Atas .....	4-37
<b>Tabel 4.27</b> Perbandingan Nilai $Cb_2$ dan $Cb_2$ Regresi Balok Web Tapered dengan Beban Merata di Flens Atas.....	4-39
<b>Tabel 4.28</b> Perbandingan Nilai $Cb_2$ dan $Cb_2$ Regresi Balok Web Tapered dengan Beban Terpusat di Flens Atas.....	4-40

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baja merupakan salah satu bahan konstruksi yang memiliki keunggulan dan kekurangan. Keunggulan material baja sebagai bahan konstruksi, diantaranya:

- a. Memiliki homogenitas bahan dengan mutu yang lebih terkontrol dan teruji.
- b. Memiliki berat sendiri yang relatif lebih ringan dibandingkan beton bertulang.
- c. Lebih dapat digunakan pada konstruksi bentang lebar atau tinggi.
- d. Menghemat waktu dan biaya, karena dapat difabrikasi di tempat lain.
- e. Perhitungan biaya struktur, berbasis tonase terpasang.

Kelemahan material baja sebagai bahan konstruksi, diantaranya:

- a. Bentuk profil yang tipis dan langsing, memiliki resiko terhadap kekokohan bahan struktur, khususnya pada masalah stabilitas tekuk torsi-lateral.
- b. Bahan mudah korosi.

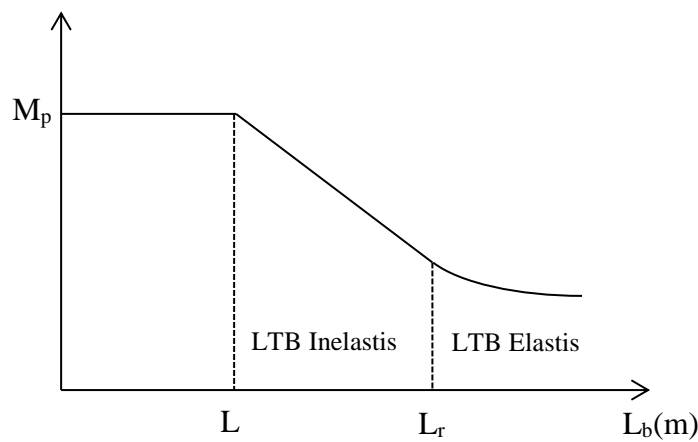
Seiring pengembangan bentuk profil dan peningkatan *engineering properties* baja. Salah satu pengembangan profil baja yang dibahas dalam skripsi ini adalah profil baja *web tapered* untuk balok tertumpu sederhana. Penggunaan balok baja *web tapered* disyaratkan tetap memberikan kekokohan (kekuatan, kekakuan dan kestabilan) maksimum meskipun berat balok minimum. Balok baja konvensional (prismatik) dimodifikasi menjadi balok *web tapered* (non-prismatis). Prinsipnya, bagian *web* (badan), pada tengah bentang dibuat lebih tinggi untuk menahan momen maksimum dan sebaliknya, pada bagian tumpuan dibuat lebih pendek untuk menahan momen minimum.

Dalam perencanaan balok baja *web tapered* dengan mengoptimasi keunggulan sifat plastis baja membutuhkan analisis kekokohan, yaitu: kekuatan, kekakuan serta stabilitas. Mengingat profil baja cukup langsing, maka sering beresiko terhadap kegagalan stabilitas berupa tekuk torsi-lateral.

Tekuk torsi-lateral adalah ragam tekuk pada balok dimana balok mengalami perpindahan keluar bidang lentur yang disertai dengan puntiran terhadap pusat geser penampang (AISC 316-2016). Salah satu batasan yang

digunakan dari tekuk torsi-lateral adalah dengan mengetahui momen kritis, yaitu momen lentur pada saat tekuk torsi-lateral terjadi.

Momen kritis sangat dipengaruhi oleh panjang bentang tak tertumpu ( $L_b$ ), pembatasan panjang tidak dibreis (*braced*) secara lateral untuk kondisi batas leleh ( $L_p$ ), pembatasan panjang tidak dibreis secara lateral untuk kondisi batas tekuk torsi-lateral inelastis ( $L_r$ ). Pada balok dengan  $L_b$  lebih kecil dari  $L_p$  ( $L_b \leq L_p$ ) tidak terjadi tekuk torsi-lateral dan kegagalan yang terjadi diakibatkan oleh kelelahan material baja, balok dengan  $L_b$  diantara  $L_p$  dan  $L_r$  ( $L_p < L_b \leq L_r$ ) akan mengalami tekuk torsi-lateral inelastik dan balok dengan  $L_b$  lebih besar dari  $L_r$  ( $L_r < L_b$ ) mengalami tekuk torsi-lateral elastik.



**Gambar 1.1** Momen Nominal Tekuk Torsi-Lateral untuk Balok Baja Prismatis

Pembahasan mengenai tekuk torsi-lateral pada balok *web tapered* tercantum pada 25 *Steel Design Guide: Frame Design Using Web-Tapered Members* yang dikembangkan dari AISC 316-2016. Namun pada panduan desain tersebut terdapat beberapa batasan. Salah satu batasan yang digunakan dalam panduan desain tersebut adalah semua parameter yang disediakan hanya untuk kondisi struktur yang mengalami momen ujung (*end moment*). Momen kritis untuk struktur balok yang mengalami momen ujung terbagi menjadi dua kondisi (momen kritis untuk tekuk torsi-lateral inelastis dan momen kritis untuk tekuk torsi-lateral elastis) dihitung sebagai :

Momen kritis untuk tekuk torsi-lateral inelastis :

$$M_n = C_b \times R_{pg} \times R_{pc} \times M_{yc} \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{F_L}{R_{pc} \times F_y} \right) \times \left( \frac{\pi \sqrt{\frac{F_y}{(\gamma_{eLTB})_{C_b=1} f_r}} - 1.1}}{\pi \sqrt{\frac{F_y}{F_L}} - 1.1}} \right) \right] \quad (1.1)$$

Dimana:

$C_b$  = Faktor modifikasi untuk perbesaran momen tak seragam

$R_{pg}$  = Faktor tekuk pada *web* (*web bend buckling factor*)

$R_{pc}$  = Faktor plastifikasi *web* (*web plastification factor*)

$M_{yc}$  = Momen saat terjadi kelelahan pada serat flens yang mengalami tekan

$F_L$  = *Magnitude of flexural stress in compression flange*

$F_y$  = Tegangan leleh

$\gamma_{eLTB}$  = Tegangan tekuk torsi lateral dibagi dengan *compressive flexural stress*

Momen kritis untuk tekuk torsi-lateral elastis dengan *web* langsung:

$$M_n = R_{pg} \times \gamma_{eLTB} \times f_r \times S_{xc} \quad (1.2)$$

Momen kritis untuk tekuk torsi-lateral elastis member lain :

$$M_n = \gamma_{eLTB} \times f_r \times S_{xc} \quad (1.3)$$

Dimana :

$\gamma_{eLTB}$  = Tegangan tekuk torsi lateral dibagi dengan *compressive flexural stress*

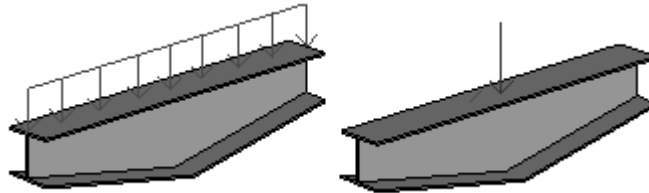
$f_r$  = *Compressive flexural stress*

$S_{xc}$  = Modulus penampang untuk serat yang tertekan

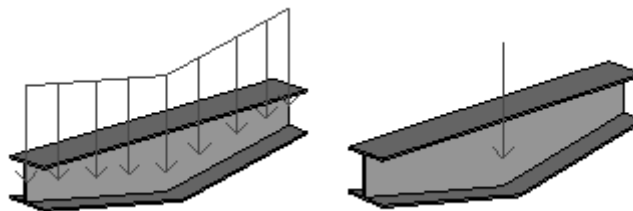
$R_{pg}$  = Faktor tekuk pada *web* (*web bend buckling factor*)

Pada kenyataannya, balok biasanya mengalami pembebanan secara *transversal* baik berupa beban terpusat maupun beban merata seperti yang terlihat. Selain itu, bentuk dari balok *web tapered* yang digunakan pun tidak mengikuti bentuk diagram momen. Balok yang ditinjau pada *25 Steel Design Guide* tersebut memiliki web yang tinggi di ujung dan web yang pendek di ujung lainnya. Bentuk balok tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.4. Oleh karena itu, perlu diteliti lebih

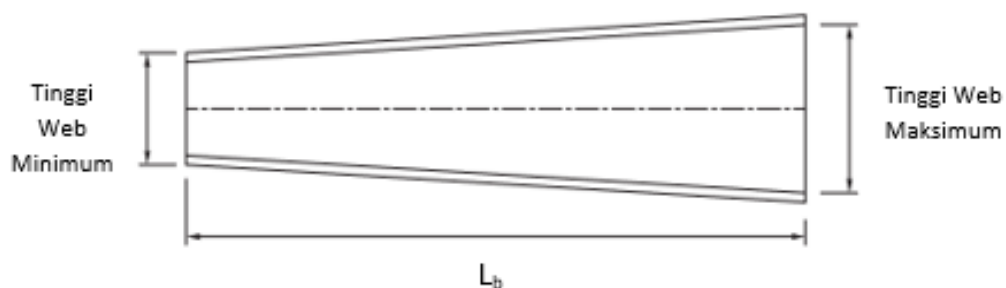
lanjut nilai koefisien untuk mendapatkan persamaan tekuk torsi-lateral yang dapat memenuhi kondisi balok *web tapered* dengan bentuk balok yang mengikuti bentuk diagram momen dan mengalami beban *transversal* (beban merata sepanjang balok dan terpusat pada tengah bentang). Kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.2 dan Gambar 1.3.



**Gambar 1.2** Balok Web Tapered dengan Beban Terpusat dan Merata di Flens Atas



**Gambar 1.3** Balok dengan Beban Terpusat dan Merata di Pusat Geser Penampang



**Gambar 1.4** Balok *Web Tapered* yang Ditinjau pada *Design Guide 25*

Dalam skripsi ini dibahas mengenai pengaruh dari berbagai macam sudut kemiringan yang dibentuk dari perbedaan tinggi web dan panjang bentang terhadap momen kritis pada balok baja non-prismatis (*web tapered*) yang mengalami beban *transversal* (beban merata sepanjang bentang dan beban terpusat di tengah bentang). Analisis model akan dilakukan dengan metode elemen hingga dengan bantuan program ADINA v9.3.3

## 1.2 Inti Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada *25 Steel Design Guide: Frame Design Using Web-Tapered Members* hanya memberikan persamaan-persamaan tekuk torsi-lateral pada balok yang mengalami momen ujung sebagai tercantum pada Persamaan 1.1 dan Persamaan 1.2 dan . Padahal dalam kenyataan balok juga sering mengalami pembebanan secara transversal sehingga diperlukan suatu koefisien pengali untuk momen kritis dari suatu balok yang mengalami beban transversal.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan dari penelitian ini diantaranya :

- Mendapatkan persamaan momen kritis untuk balok *web tapered* yang mengalami beban transversal.
- Mempelajari pengaruh letak pembebanan pada balok baja *web tapered* terhadap momen kritis.

## 1.4 Pembatasan Masalah

Pada skripsi ini permasalahan dibatasi sebagai berikut:

1. Balok tertumpu sederhana (sendi-rol).
2. Material baja bersifat homogen, isotropik, plastik multilinear.
3. Penampang yang digunakan berbentuk IWF.
4. Ketinggian web maksimum sebesar 500mm dan 600mm dan ketinggian minimum web divariasikan.
5. Beban yang diterima balok berupa beban tetap terpusat pada tengah bentang dan beban merata sepanjang bentang balok, bekerja pada flens atas dan pusat geser profil.

6. Tegangan leleh ( $F_y$ ) yang digunakan dalam analisis ini adalah setara dengan BJ41 (250 MPa).

### **1.5 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini diantaranya sebagai berikut :

1. Studi literatur.

Studi literatur dilakukan dengan menggunakan buku-buku rujukan, jurnal, dan makalah yang dijadikan sebagai acuan dalam melakukan analisa serta memperdalam konsep yang dapat memperkuat analisis.

2. Pemodelan.

Melakukan pemodelan balok yang terdiri dari variasi bentang dan kemiringan flens bawah.

3. Analisis.

Analisis menggunakan metode elemen hingga dengan memperhatikan tekuk torsi lateral menggunakan program ADINA v9.3.3.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam skripsi ini sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan, berisi tentang latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penelitian serta sistematika penulisan yang digunakan dalam skripsi ini.

Bab 2 Landasan Teori, berisi tentang tinjauan pustaka mengenai teori yang akan menjadi tolak ukur dalam analisa dan pembahasan

Bab 3 Permodelan, berisi tentang permodelan elemen hingga menggunakan program ADINA v9.3.3.

Bab 4 Analisis Studi dan Hasil Permodelan, berisi tentang analisis yang dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan momen kritis balok *web tapered* dan momen kritis balok prismatis menggunakan metode elemen hingga, serta



mengevaluasi persamaan tekuk torsi-lateral yang dapat mengakomodasi balok dengan beban transversal.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran, berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.