

**STUDI NUMERIKAL TEKUK WEB PADA BALOK BAJA
KASTELA AKIBAT KOMBINASI MOMEN LENTUR DAN
GAYA GESER**

TESIS



Oleh:

William Wiranata

NPM: 8101801022

Pembimbing:

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

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2021**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**STUDI NUMERIKAL TEKUK WEB PADA BALOK BAJA
KASTELA AKIBAT KOMBINASI MOMEN LENTUR DAN
GAYA GESER**

TESIS



WILLIAM WIRANATA

NPM: 8101801022

BANDUNG, 24 FEBRUARI 2021

PEMBIMBING:



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

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2021**

PERNYATAAN

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

Nama : William Wiranata

NPM : 8101801022

Program Studi : Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

“ STUDI NUMERIKAL TEKUK WEB PADA BALOK BAJA KASTELE AKIBAT KOMBINASI MOMEN LENTUR DAN GAYA GESER ”

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 : Bandung

Tanggal : 6 Januari 2021


William Wiranata

STUDI NUMERIKAL TEKUK WEB PADA BALOK BAJA KASTELA AKIBAT KOMBINASI MOMEN LENTUR DAN GAYA GESER

**William Wiranata (NPM: 8101801022)
Pembimbing: Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.**

**Magister Teknik Sipil
Bandung
Januari 2021**

ABSTRAK

Salah satu ragam tekuk yang terjadi pada balok baja kastela adalah tekuk pada web penampang. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan untuk mencari besarnya beban ultimit yang dapat dipikul balok untuk ragam kegagalan tekuk web. Tekuk web yang dimaksud adalah tekuk pos web (bagian web yang terletak di antara bukaan web). Tekuk pos web menurut AISC *Design Guide* 31 pasal 3.4.1 tidak meninjau kestabilan web secara keseluruhan tetapi hanya meninjau stabilitas pelat T-web atas dan bawah secara terpisah berdasarkan momen kritis dari bagian atas atau bawah web. Pada studi ini, dilakukan analisis tekuk web balok kastela sebagai satu kesatuan. Model yang ditinjau adalah balok kastela yang terletak di atas dua tumpuan sederhana dengan berbagai ukuran panjang. Beban yang diberikan adalah beban terpusat di tengah bentang. Beban tersebut dimaksudkan untuk menciptakan gaya geser konstan dan momen lentur bervariasi di sepanjang balok. Metode analisis yang digunakan adalah metode elemen hingga. Analisis yang dilakukan adalah analisis keruntuhan yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ADINA 9.5. Sebelum analisis keruntuhan dilakukan, balok diberi ketidaksempurnaan geometri yang distribusinya sama dengan ragam pertama tekuk linier untuk tekuk web. Dari analisis tersebut diperoleh beban maksimum sebelum balok runtuh. Dari data tersebut didapat persamaan untuk memprediksi gaya geser kritis dengan parameter h/t_w , ketidaksempurnaan geometri, dan momen lentur untuk berbagai profil balok kastela.

Kata Kunci: Analisis Tekuk Web, Balok Kastela, Gaya Geser, Rasio h/t_w , Ketidaksempurnaan Geometri, Momen Lentur.

NUMERICAL STUDY OF WEB BUCKLING OF CASTELLATED STEEL BEAM UNDER COMBINED BENDING MOMENT AND SHEAR FORCE

**William Wiranata (NPM: 8101801022)
Adviser: Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.**

**Master of Civil Engineering
Bandung
January 2021**

ABSTRACT

One of many buckling mode that could occur on castellated steel beam is web buckling. In this research, the analysis is carried out by looking for ultimate load that the beam can carry for web buckling mode of failure. Web buckling is referred to web post (part of web that located between two holes) buckling. Web post buckling according to AISC Design Guide 31 chapter 3.4.1 is not reviewed of the stability of web as a whole but reviewed the stability of top and bottom of T-web separately based on critical moment from upper part and lower part of the web. In this study, the analysis of web post buckling as one part of web has been studied. The model is simply supported castellated beam that is loaded by concentrated load applied at mid-span with various beam length that intended to create constant shear force and bending moment along the beam. The analysis is collapse analysis that is performed by finite element based on software ADINA 9.5. Before collapse analysis has been done, the beam was given a geometry imperfection whose distribution was equal to the first mode of linear buckling for web buckling. From the analysis, ultimate load and equation have been obtained to estimate the shear force of castellated beam with h/t_w ratio, geometry imperfection, and bending moment for various of castellated beams.

Keywords: Web Buckling Analysis, Castellated Beam, Shear Force, h/t_w Ratio, Geometry Imperfection, Bending Moment.

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas cinta dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Studi Numerikal Tekuk Web pada Balok Baja Kastela Akibat Kombinasi Momen Lentur dan Gaya Geser”. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi program pascasarjana Program Studi Magister Teknik konsentrasi bidang Teknik Struktur, Universitas Katolik Parahyangan Bandung.

Penulis menyadari dalam menyusun tesis ini telah menghadapi banyak kendala maupun hambatan baik secara langsung maupun tidak langsung. Namun berkat kritik, saran dan dorongan semangat dari berbagai pihak, akhirnya tesis ini dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah mencurahkan perhatian, waktu, tenaga dan membagikan ilmu pengetahuan yang berguna bagi penulis dalam menyelesaikan tesis ini tanpa lelah dan tidak patah semangat dalam membimbing penulis.
2. Bapak Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan lebih baik;
3. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen penguji yang memberikan saran dan kritik kepada penulis sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan lebih baik;
4. Kedua orang tua dan saudara/i saya yang selalu memberikan dukungan dan semangat terutama doa tiada henti sehingga penulis tetap semangat dalam pengerjaan tesis ini;
5. Martinus Pramanata Sapeai, Flosten Yosep, dan Mega Nospita Matana yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung selama satu setengah tahun pembelajaran di Sipil UNPAR serta atas segala momen kebersamaan dalam suka-duka, canda-tawa dan perjuangan selama proses perkuliahan;

6. Sandhi Kwani, Benny Gunawan Hung, Arnold Rurry, Agustina Primanita Sapeai, Yanuarius Sedu, Ibu Ing Cu Oen, dan Pak Herlambang yang turut serta memberikan dorongan dan motivasi dalam pembuatan tesis;
7. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis sangat berterima kasih apabila terdapat saran dan kritik yang dapat membuat tesis ini akan menjadi lebih baik lagi. Dibalik kekurangan tersebut, penulis berharap tesis ini dapat berguna bagi teman-teman dan semua orang yang membacanya.

Bandung, Januari 2021



William Wiranata

8101801022

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 STUDI PUSTAKA.....	7
2.1 Material Baja	7
2.2 Plastis-Multilinier pada Material Baja	9
2.3 Balok Baja Kastela	9
2.4 Dimensi Lubang Web Balok Baja Kastela.....	10
2.5 Efek Bukaan Web Balok Baja Kastela.....	11
2.6 Ragam Kegagalan Akibat Bukaan Web Balok Baja Kastela	11
2.6.1 Mekanisme <i>Vierendeel</i>	11
2.6.2 Tekuk Pos Web.....	12
2.6.3 Geser Vertikal dan Horizontal.....	15
2.6.4 Tekuk Torsi Lateral	15

2.7	Ketidaktepurnaan Geometri	16
2.8	Metode Elemen Hingga	16
2.9	Perilaku Tekuk Web Penampang Balok Baja Kastela.....	17
2.9.1	Analisis <i>Nonlinear Finite Element</i> dari Perilaku <i>Ultimate</i> pada Balok Baja Kastela Oleh Soltani et al., 2012	18
2.9.2	Analisis Perilaku Tekuk Web pada Balok Baja Kastela dengan Pengaku Transversal terhadap Beban Merata Oleh Hao Deng et al., 2015	20
2.9.3	Investigasi Batas Tekuk Kompresi Pos Web dan Kebutuhan Pengaku pada Balok Baja Kastela Oleh Menkulasi et al., 2017	21
2.9.4	Studi Eksperimental Tekuk Lokal pada Balok Baja Kastela Akibat Lentur Murni Oleh Wenting Ji et al., 2018	25
BAB 3	PEMODELAN.....	28
3.1	Geometri Struktur	28
3.2	Pemodelan Pembebanan Struktur	30
3.3	Pemodelan Perletakan Struktur.....	31
3.4	Elemen Diskret Struktur	32
3.5	Analisis Tekuk Web Linier.....	33
3.6	Analisis Tekuk Web Nonlinier	33
BAB 4	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Verifikasi Perhitungan Program ADINA terhadap Perhitungan Manual Tegangan Normal Maksimum	35
4.2	Analisis Tekuk Linier	36
4.3	Tegangan pada Web Balok Kastela pada Analisis Statik Elastik....	37
4.4	Analisis Tekuk Nonlinier.....	40
4.5	Perilaku Tekuk Web pada Balok Kastela Berdasarkan Analisis Tekuk Nonlinier	49
4.6	Tekuk Pos Web Akibat Kombinasi Momen Lentur dan Gaya Geser pada Balok Kastela	64

4.7 Persamaan Gaya Geser terhadap Parameter h/t_w , Geometri <i>Imperfection</i> , dan Momen Lentur pada Balok Kastela	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA	xv

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas penampang setelah diberi beban aksial
A_0	= Luas penampang awal
A_w	= Area pertemuan T web atas dan bawah
b	= Lebar diagonal bukaan web penampang
b_f	= Lebar flens balok kastela
d	= Tinggi profil balok kastela
d_{effec}	= Jarak antara titik berat penampang T-web atas dan T-web bawah
e	= Jarak bersih antar bukaan web
f_{yw}	= Tegangan leleh pada web
f_{yf}	= Tegangan leleh pada flens
F_y	= Tegangan leleh
h	= Tinggi bersih web balok kastela
h_o	= Tinggi bukaan web penampang
h_{top}	= Tinggi setengah lubang bukaan web bagian atas
L_b	= Panjang bentang balok
L_0	= Panjang awal
ΔL	= Perubahan panjang
M_n	= Momen nominal
M_p	= Momen plastis
M_{ocr}	= Momen kritis
P	= Beban aksial

P_{TEST}	= Beban <i>ultimate</i> dari uji eksperimental
P_{FEM}	= Beban <i>ultimate</i> dari metode <i>finite element</i>
S	= Jarak horizontal antar tengah bukaan web
S_x	= Modulus penampang elastik
t_f	= Tebal flens penampang
t_w	= Tebal web penampang
V_n	= Kekuatan geser nominal
V_{rh}	= Gaya geser horizontal
V_{cr}	= Kekuatan geser kritis
W_o	= Lebar bukaan web penampang
y	= Tinggi setengah profil balok
σ	= Tegangan normal
σ_T	= <i>True stress</i>
σ_{yAISC}	= Tegangan lentur AISC <i>Spesification</i> 360-16
σ_{yMEH}	= Tegangan lentur metode elemen hingga
σ_1	= Tegangan utama
$\sigma_{von\ mises}$	= Tegangan <i>von mises</i>
ε	= Regangan normal
ε_T	= <i>True strain</i>
θ	= Sudut lubang bukaan web

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Pemodelan Struktur Balok Baja Kastela.....	3
Gambar 1.2 Diagram Alir Metode Penelitian.....	5
Gambar 2.1 Grafik Tegangan Regangan Material Baja	8
Gambar 2.2 Kurva Tegangan Regangan Plastis-Multilinier	9
Gambar 2.3 Pengerjaan Balok Kastela	10
Gambar 2.4 Dimensi Bukaan Balok Kastela	10
Gambar 2.5 Momen Lentur yang Bekerja pada Balok Baja Kastela.....	12
Gambar 2.6 Gaya Geser Horizontal dan Vertikal yang Bekerja pada Balok Baja Kastela.....	13
Gambar 2.7 Skematik Balok Baja Kastela	21
Gambar 2.8 Orientasi dan Besar <i>Principle Compressive Stresses</i>	22
Gambar 2.9 Dimensi Spesimen Balok Kastela.....	23
Gambar 2.10 Skema Pembebanan pada Spesimen Balok Kastela	25
Gambar 2.11 Deformasi Tekuk Hasil Eksperimental Balok Kastela	26
Gambar 3.1 Sketsa Geometri Struktur Balok Kastela	29
Gambar 3.2 Pemodelan Pembebanan Struktur Balok Kastela	30
Gambar 3.3 Pemodelan Perletakan Struktur Balok Kastela	31
Gambar 3.4 Diskretisasi Struktur Balok Kastela.....	32
Gambar 4.1 Tegangan Normal Maksimum Struktur Balok WF 452x100x5x6 dengan Bentang Balok 2792 mm	35
Gambar 4.2 Ragam Tekuk Web Balok Baja Kastela	37
Gambar 4.3 Arah dan Distribusi Tegangan Utama Web Kastela Bentang Pendek pada Analisis Statik Elastik.....	37
Gambar 4.4 Arah dan Distribusi Tegangan Utama Web Kastela Bentang Panjang pada Analisis Statik Elastik.....	38
Gambar 4.5 Hubungan Gaya Geser dan Peralihan Lateral untuk Profil HC 600x200x8x13	41
Gambar 4.6 Hubungan Gaya Geser dan Peralihan Lateral untuk Profil HC 600x200x7x13.....	41

Gambar 4.7 Hubungan Gaya Geser dan Peralihan Lateral untuk Profil HC 600x200x6x13	42
Gambar 4.8 Hubungan Gaya Geser dan Peralihan Lateral untuk Profil HC 600x200x5x13	42
Gambar 4.9 Hubungan Gaya Geser dan Peralihan Lateral untuk Profil HC 450x300x10x15	45
Gambar 4.10 Hubungan Gaya Geser dan Peralihan Lateral untuk Profil HC 450x300x9x15	45
Gambar 4.11 Hubungan Gaya Geser dan Peralihan Lateral untuk Profil HC 450x300x8x15	46
Gambar 4.12 Hubungan Gaya Geser dan Peralihan Lateral untuk Profil HC 450x300x7x15	46
Gambar 4.13 Bentuk Tekuk Web Balok Kastela Berdasarkan ADINA 9.5	50
Gambar 4.14 Pembesaran Bentuk Tekuk Web Balok Kastela Berdasarkan ADINA 9.5	50
Gambar 4.15 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Panjang Bentang Balok Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 1 mm.....	51
Gambar 4.16 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Panjang Bentang Balok Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 2 mm.....	51
Gambar 4.17 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Panjang Bentang Balok Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 3 mm.....	52
Gambar 4.18 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Panjang Bentang Balok Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 4 mm.....	52
Gambar 4.19 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Panjang Bentang Balok Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 1 mm.....	53
Gambar 4.20 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Panjang Bentang Balok Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 2 mm.....	53
Gambar 4.21 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Panjang Bentang Balok Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 3 mm.....	54
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Panjang Bentang Balok Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 4 mm.....	54

Gambar 4.23 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Geometri <i>Imperfection</i> Profil HC 600x200 untuk Panjang Bentang 1850.85 mm	55
Gambar 4.24 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Geometri <i>Imperfection</i> Profil HC 600x200 untuk Panjang Bentang 3600.45 mm	56
Gambar 4.25 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Geometri <i>Imperfection</i> Profil HC 600x200 untuk Panjang Bentang 6224.85 mm	56
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Geometri <i>Imperfection</i> Profil HC 600x200 untuk Panjang Bentang 7974.45 mm	57
Gambar 4.27 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Geometri <i>Imperfection</i> Profil HC 450x300 untuk Panjang Bentang 2052.65 mm	57
Gambar 4.28 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Geometri <i>Imperfection</i> Profil HC 450x300 untuk Panjang Bentang 4029.05 mm	58
Gambar 4.29 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Geometri <i>Imperfection</i> Profil HC 450x300 untuk Panjang Bentang 6005.45 mm	58
Gambar 4.30 Grafik Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Geometri <i>Imperfection</i> Profil HC 450x300 untuk Panjang Bentang 7981.85 mm	59
Gambar 4.31 Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Momen Lentur Balok Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 1 mm.....	65
Gambar 4.32 Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Momen Lentur Balok Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 2 mm.....	65
Gambar 4.33 Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Momen Lentur Balok Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 3 mm.....	66
Gambar 4.34 Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Momen Lentur Balok Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 4 mm.....	66
Gambar 4.35 Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Momen Lentur Balok Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 1 mm.....	67
Gambar 4.36 Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Momen Lentur Balok Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 2 mm.....	67
Gambar 4.37 Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Momen Lentur Balok Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 3 mm.....	68
Gambar 4.38 Hubungan Gaya Geser Ultimit dan Momen Lentur Balok Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 4 mm.....	68

Gambar 4.39 Hubungan Rasio h/t_w dan Gaya Geser Ultimit untuk Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 1 mm	74
Gambar 4.40 Hubungan Rasio h/t_w dan Gaya Geser Ultimit untuk Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 2 mm	74
Gambar 4.41 Hubungan Rasio h/t_w dan Gaya Geser Ultimit untuk Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 3 mm	75
Gambar 4.42 Hubungan Rasio h/t_w dan Gaya Geser Ultimit untuk Profil HC 600x200 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 4 mm	75
Gambar 4.43 Hubungan Rasio h/t_w dan Gaya Geser Ultimit untuk Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 1 mm	78
Gambar 4.44 Hubungan Rasio h/t_w dan Gaya Geser Ultimit untuk Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 2 mm	78
Gambar 4.45 Hubungan Rasio h/t_w dan Gaya Geser Ultimit untuk Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 3 mm	79
Gambar 4.46 Hubungan Rasio h/t_w dan Gaya Geser Ultimit untuk Profil HC 450x300 untuk Geometri <i>Imperfection</i> 4 mm	79
Gambar 4.47 Hasil Analisis Regresi Faktor Modifikasi C terhadap Variabel Independen.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Penampang Spesimen Balok Baja Kastela.....	19
Tabel 2.2 Perbandingan Hasil Beban <i>Ultimate</i> dengan Uji Eksperimental dan <i>Finite Element</i>	19
Tabel 2.3 Data Penampang Spesimen Balok Baja Kastela Tanpa <i>Stiffener</i>	24
Tabel 2.4 Beban Merata <i>Ultimate</i> (kN/m) pada Balok Baja Kastela Tanpa <i>Stiffener</i>	24
Tabel 2.5 Dimensi Penampang dan Parameter Balok Baja Kastela	25
Tabel 2.6 Hasil Eksperimen Balok Baja Kastela	26
Tabel 3.1 Variasi Bentang Balok dan Ukuran Dimensi Bukaan HC 600x200.....	28
Tabel 3.2 Variasi Bentang Balok dan Ukuran Dimensi Bukaan HC 450x300.....	29
Tabel 4.1 Perbandingan Perhitungan Metode Elemen Hingga terhadap Perhitungan Manual Tegangan Normal	36
Tabel 4.2 Hasil Tegangan Utama dan <i>Von Mises</i> pada Web Balok HC 600x200	38
Tabel 4.3 Hasil Tegangan Utama dan <i>Von Mises</i> pada Web Balok HC 450x300	39
Tabel 4.4 Hubungan Gaya Geser dengan Peralihan Lateral Maksimum Analisis Tekuk Nonlinier Balok HC 600x200.....	43
Tabel 4.5 Hubungan Gaya Geser dengan Peralihan Lateral Maksimum Analisis Tekuk Nonlinier Balok HC 450x300.....	47
Tabel 4.6 Hubungan Gaya Geser dengan Geometri <i>Imperfection</i> Balok Kastela HC 600x200.....	60
Tabel 4.7 Hubungan Gaya Geser dengan Geometri <i>Imperfection</i> Balok Kastela HC 450x300.....	62
Tabel 4.8 Hubungan Gaya Geser dengan Momen Lentur Balok HC 600x200	69
Tabel 4.9 Hubungan Gaya Geser dengan Momen Lentur Balok HC 450x300	71
Tabel 4.10 Hubungan Gaya Geser dengan Rasio h/t_w Balok HC 600x200	76
Tabel 4.11 Hubungan Gaya Geser dengan Rasio h/t_w Balok HC 450x300	80
Tabel 4.12 Data Variabel Independen dan Nilai C Balok HC 600x200.....	83
Tabel 4.13 Data Variabel Independen dan Nilai C Balok HC 450x300.....	85

Tabel 4.14 Hasil Perbandingan Gaya Geser Kritis Balok HC 600x20091
Tabel 4.15 Hasil Perbandingan Gaya Geser Kritis Balok HC 450x30093

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	VERIFIKASI PERHITUNGAN PROGRAM ADINA TERHADAP PERHITUNGAN MANUAL TEGANGAN NORMAL MAKSIMUM PADA BALOK WF DALAM ANALISIS STATIK.....	L1-0
Lampiran 1-1	Tegangan Normal WF Balok 452x100x5x6 dan Pengecekan Program ADINA terhadap Perhitungan Tegangan Normal Maksimum dalam Analisis Statik.....	L1-1
LAMPIRAN 2	KURVA GAYA GESER - PERALIHAN LATERAL BALOK KASTELA	L2-0
Lampiran 2-1	Kurva Gaya Geser terhadap Peralihan Lateral Balok HC 450x300	L2-1
Lampiran 2-9	Kurva Gaya Geser terhadap Peralihan Lateral Balok HC 600x200	L2-9
LAMPIRAN 3	PERBANDINGAN PERHITUNGAN GAYA GESER BERDASARKAN AISC DESIGN GUIDE DENGAN PERSAMAAN REGRESI.....	L3-0
Lampiran 3-1	Perbandingan perhitungan gaya geser kritis berdasarkan AISC <i>Design Guide</i> dengan persamaan regresi.....	L3-1

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi saat ini, penggunaan material baja sebagai bahan konstruksi sangat diminati karena kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan material beton ataupun kayu. Selain itu, material baja memiliki keunggulan dalam hal mempercepat waktu konstruksi dan modifikasi geometri pada balok baja untuk kebutuhan perancangan. Salah satunya adalah balok baja kastela.

Salah satu batasan dalam mendesain suatu balok baja adalah permasalahan tekuk. Pada fenomena ini, tekuk dapat mengakibatkan struktur runtuh sebelum mencapai kelelahan. Tekuk pada komponen struktur terdiri dari tekuk lokal dan tekuk global. Studi ini akan membahas mengenai perilaku tekuk pada web balok kastela. Dengan adanya pembuatan balok baja kastela, nilai momen inersia dan modulus penampang balok semakin besar sehingga meningkatkan kekakuan maupun kapasitas lenturnya.

Metodologi yang digunakan pada studi ini adalah analisis keruntuhan dengan metode elemen hingga yaitu dengan bantuan perangkat lunak ADINA 9.5. Pada analisis keruntuhan, sebuah balok baja memiliki geometri yang tidak sempurna akan dibebani dengan beban yang terus meningkat untuk mendapatkan kapasitas nominal dari balok baja tersebut. Ketidaksempurnaan antara lain balok baja tidak lurus sempurna, penampang tidak sempurna secara geometri, beban tidak sentris sempurna, sudut antara web dan flens tidak tegak lurus sempurna, dan permukaan web yang tidak rata. Pada penelitian ini digunakan ketidaksempurnaan

geometri yang dapat mempengaruhi perilaku tekuk pada web. Oleh karena itu, besarnya ketidaksempurnaan geometri sangat mempengaruhi hasil analisis pada tekuk web terhadap besarnya beban maksimum yang dapat diterima balok baja kastela.

1.2 Inti Permasalahan

Tekuk pada bagian pos web baja kastela menurut *AISC Design Guide* nomor 31 pasal 3.4.1 tidak meninjau kestabilan web secara keseluruhan tetapi meninjau stabilitas pelat T-web atas dan bawah secara terpisah berdasarkan momen kritis dari bagian atas atau bawah web sehingga belum adanya tinjauan web baja kastela sebagai satu kesatuan pelat tanpa memisahkan pelat T-web atas dan bawah, sebagaimana dibahas pada Bab 2.6.2. Yang dimaksud dengan pos web adalah bagian web yang terletak diantara dua lubang. Kekuatan tekuk pos web berdasarkan *design guide* tersebut dihitung dengan meninjau *free body* setengah pos web dengan adanya gaya geser horizontal yang melewati tengah-tengah pos web. Kemudian dengan suatu persamaan dihitung gaya geser kritis pada setengah pos web tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan tinjauan stabilitas web sebagai satu kesatuan pelat akibat gaya geser dan momen lentur. Konfigurasi lubang balok kastela mengikuti konfigurasi produk Gunung Garuda sehingga konfigurasi lubang tidak divariasikan. Parameter yang ditinjau adalah rasio tinggi bersih web terhadap tebal web, panjang bentang balok, dan ketidaksempurnaan geometri.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain:

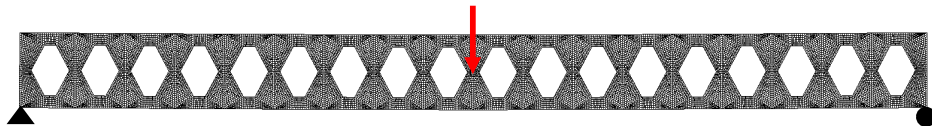
1. Menjelaskan perilaku tekuk pada web baja kastela.

2. Mendapatkan persamaan untuk menghitung besarnya beban terbesar yang dapat dipikul balok kastela untuk ragam kegagalan tekuk web.

1.4 Pembatasan Masalah

Studi penelitian tesis ini memiliki batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Struktur balok yang ditinjau adalah balok baja kastela tipe *honeycomb* dengan dimensi lubang mengikuti ukuran profil HC 600x200 dan HC 450x300.
2. Struktur balok memiliki pengaku pada perletakan sederhana (sendi-rol) di kedua ujungnya dengan bentang panjang 2, 4, 6 dan 8 meter.
3. Material yang digunakan adalah baja dengan tegangan leleh 250 MPa dan dianggap bersifat plastis-multilinier.
4. Pada ujung balok dan tengah bentang dipasang pengaku transversal.
5. Beban yang diberikan pada pengaku transversal yang terletak di tengah bentang merupakan beban terpusat seperti terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Ilustasi Pemodelan Struktur Balok Baja Kastela

6. Parameter yang ditinjau dengan memodifikasi profil HC 600x200 dan HC 450x300 adalah rasio tinggi bersih web terhadap tebal web, panjang bentang balok, dan besarnya ketidaksempurnaan geometri.
7. Tegangan sisa tidak diperhitungkan.
8. Jenis elemen yang digunakan adalah elemen *shell*.
9. Pengaruh kekakuan flens tidak ditinjau.

1.5 Metode Penelitian

Studi dilakukan dengan metode penelitian yang meliputi studi pustaka dan analisis numerik. Diagram alir pada studi ini ditampilkan pada Gambar 1.2. Berikut adalah metode penelitian dari studi ini antara lain:

1. Studi Pustaka

Pustaka yang digunakan sebagai referensi antara lain berupa buku, *paper/jurnal*, dan spesifikasi desain mengenai tekuk web lokal.

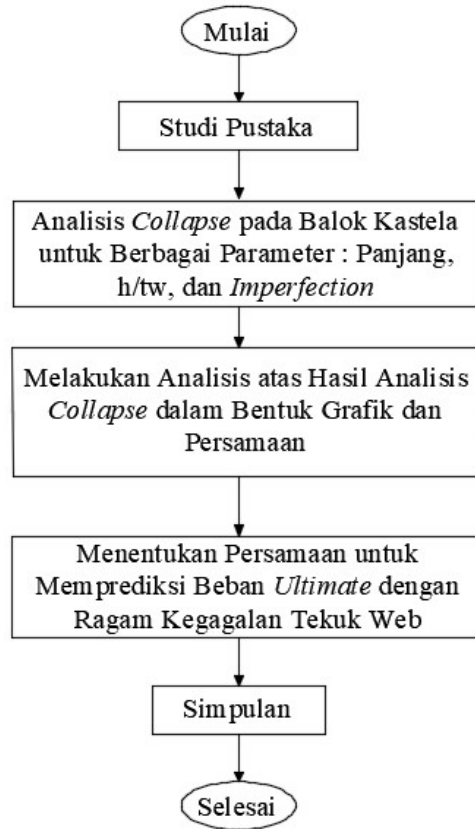
2. Analisis Numerik

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan mencari besarnya beban ultimit apabila ragam kegagalan yang terjadi adalah tekuk web balok kastela. Analisis yang dilakukan adalah analisis keruntuhan (*collapse analysis*) pada beberapa balok kastela di atas dua tumpuan sederhana dengan berbagai ukuran panjang. Beban yang diberikan adalah beban terpusat pada pengaku di tengah bentang. Beban tersebut dimaksudkan untuk menciptakan gaya geser konstan dan momen lentur bervariasi di sepanjang balok.

Analisis dilakukan dengan memaksa timbulnya keruntuhan tekuk pada web balok kastela yaitu mencegah terjadinya tekuk torsi lateral dengan memberikan tumpuan lateral disepanjang flens. Tebal flens yang digunakan adalah flens yang kompak sehingga tidak terjadi tekuk lokal pada flens.

Analisis juga dilakukan dengan *geometric imperfection* dengan distribusi yang mengikuti ragam pertama dari hasil analisis tekuk linier di mana dipastikan terjadi tekuk pada web.

Hasil dari *collapse analysis* adalah beban ultimit dengan ragam kegagalan tekuk web yang dipengaruhi oleh kombinasi gaya geser dan momen lentur.



Gambar 1.2 Diagram Alir Metode Penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penelitian ini, sistematika penulisan yang digunakan pada tesis ini antara lain:

Bab 1 Pendahuluan

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

Bab 2 Studi Pustaka

Berisi tentang perkembangan penelitian mengenai balok baja kastela, teori-teori dan persamaan yang digunakan dalam analisis tesis, serta perilaku tekuk web pada balok baja kastela.

Bab 3 Studi Kasus

Berisi tentang pemodelan struktur dari segi pemodelan elemen hingga struktur dengan menggunakan perangkat lunak ADINA 9.5, pembebanan pada struktur, dan kondisi perletakan pada struktur.

Bab 4 Analisis Hasil Uji

Berisi tentang hasil analisis dan pengolahan data yang dihasilkan dari pemodelan dan perhitungan yang dilakukan.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Membahas tentang simpulan hasil analisis dan hasil pengujian serta saran untuk menunjang penelitian berikutnya.