

**ANALISIS TEKUK TORSI LATERAL INELASTIS
BALOK I DENGAN PENGAKU SEJAJAR *WEB***

TESIS



Oleh:

**Septinurriandiani
2012831001**

**Pembimbing:
Dr. Paulus Karta Wijaya**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JANUARI 2017**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS TEKUK TORSI LATERAL INELASTIS BALOK I DENGAN
PENGAKU SEJAJAR *WEB***



Oleh:

**Septinurriandiani
2012831001**

**Disetujui untuk Diajukan Ujian Sidang pada Hari/Tanggal:
Selasa, 3 Januari 2017**

Pembimbing:

Dr. Paulus Karta Wijaya

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JANUARI 2017**

PERNYATAAN

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

Nama : **SEPTINURRIANDIANI**
Nomor Pokok Mahasiswa : **2012831001**
Program Studi : **MAGISTER TEKNIK SIPIL**
Program Pascasarjana
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul:

**ANALISIS TEKUK TORSI LATERAL INELASTIS BALOK I
DENGAN PENGAKU SEJAJAR WEB**

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan Dr. Paulus Karta Wijaya, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan : di Bandung

Tanggal : 3 Januari 2017



Septinurriandiani

ANALISIS TEKUK TORSI LATERAL INELASTIS BALOK I DENGAN PENGAKU SEJAJAR WEB

Septinurriandiani (NPM: 2012831001)
Pembimbing: Dr. Paulus Karta Wijaya
Magister Teknik Sipil
Bandung
Januari 2017

ABSTRAK

Bentuk ketidakstabilan berupa tekuk torsi lateral merupakan kondisi batas yang dapat mengendalikan kekuatan suatu balok. Salah satu parameter yang mempengaruhi nilai momen kritis untuk kasus tekuk torsi lateral adalah panjang balok tak terkekang (L_b). Karya tulis ini mempelajari cara untuk meningkatkan momen kritis dengan memasang pengaku. Pengaku tersebut dipasang dengan las pada *flens* dan sejajar *web*. Studi ini bertujuan untuk menemukan formula momen kritis balok I yang dipasang pengaku sejajar *web* pada ujung balok dengan variasi panjang terhadap tekuk torsi lateral elastis dan inelastis dengan tegangan sisa dan ketidaksempurnaan awal ikut diperhitungkan. Pendekatan analisis numerik dengan metode elemen hingga merupakan solusi yang baik untuk mempelajari perilaku tekuk torsi lateral inelastis balok yang dipasang pengaku sejajar *web*. Program yang digunakan adalah ADINA v.8.9.0 dengan metode analisis keruntuhan *displacement control*. Asumsi analisis yang digunakan adalah *large displacement* dan *large strain*. Hasil penelitian menyimpulkan terdapat tiga parameter nondimensional yang menentukan peningkatan momen kritis yaitu rasio panjang pengaku dibanding panjang balok tak terkekang (L_s/L_b), rasio panjang pengaku dibanding tinggi penampang (L_s/d), dan rasio tebal pengaku dibanding tebal *web* (t_s/t_w). Telah diperoleh faktor pengaruh akibat ketidaksempurnaan awal (C_T) dan faktor pengaruh akibat pengaku sejajar *web* (C_s) untuk kondisi momen konstan dan beban merata.

Kata kunci: Tekuk Torsi Lateral Inelastis, Momen Kritis, Pengaku, Metode Elemen Hingga, Tegangan Sisa

ANALYSIS OF INELASTIC LATERAL TORSIONAL BUCKLING OF I-BEAM WITH PARALLEL WEB STIFFENER

Septinurriandiani (NPM: 2012831001)

Advisor: Dr. Paulus Karta Wijaya

Magister of Civil Engineering

Bandung

January 2017

ABSTRACT

The form of instability that called lateral torsional buckling is a limit state that may control the strength of a beam. One of parameters that affect critical moment value of a beam in lateral torsional buckling cases is unbraced length (L_b). This paper studies a way to increase critical moment is by applying stiffeners. The stiffeners applied by welding it on both sides of flange in parallel way to web of a beam. This study intends to find critical moment formula when parallel web stiffeners is applied on both beam ends, with beam length variation. Residual stress and initial imperfection are calculated in this study. Numerical analysis approximation with finite element method is a good solution to be able to study behavior of inelastic lateral torsional buckling of beam with parallel web stiffeners. Failure analysis method with displacement control has been using ADINA v.8.9.0. Analysis assumptions used are large displacement and large strain. From this study, conclusions have been drawn. There are three non-dimensional parameters which able to increase critical moment, that are stiffeners length to unbraced length of beam ratio (L_s/L_b), stiffeners length to depth of beam ratio (L_s/d), and also stiffeners thickness to web thickness ratio (t_s/t_w). Initial imperfection modification (C_r) and stiffeners modification factor of inelastic lateral torsional buckling (C_s) have been obtained, for constant (uniform) moment and uniformly distributed load.

Kata kunci: Inelastic Lateral Torsional Buckling, Critical Moment, Stiffener, Finite Element Method, Residual Stress

PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji kepada Allah SWT. berkat rahmat, ridho dan kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan karya tulis yang berjudul “Analisis Tekuk Torsi Lateral Inelastis Balok I dengan Pengaku Sejajar Web”. Karya tulis ini merupakan syarat untuk menyelesaikan Program Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan Bandung. Penulis bersyukur dan berterima kasih kepada kedua orang tua penulis, Dedi Hadian dan Titien Nurgustini, serta suami dan putri penulis, Firmansyah Damanik dan Azzahra Sefira Damanik, yang memberi dukungan penuh bagi penulis, juga melalui banyak pihak yang telah membimbing, membantu, dan memberi motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan karya tulis ini, antara lain:

1. Dr. Paulus Karta Wijaya sebagai dosen pembimbing
2. Prof. Bambang Suryoarmono dan Dr-Ing. Dina Rubiana sebagai dosen penguji, komite tesis.
3. Rekan-rekan Balai Litbang Struktur Jembatan, PUSJATAN, Kementerian PUPR yang sabar memaklumi penulis saat harus melakukan aktifitas di kampus.
4. Mahasiswa Magister Teknik Struktur yang sama-sama mengalami jatuh bangun dalam semangat menyelesaikan studi dan saling memotivasi untuk tetap menyelesaikan studi sampai selesai.
5. Berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penulis baik secara langsung maupun tidak.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih jauh dari sempurna, pemahaman dan pengetahuan mengenai metode elemen hingga yang masih terbatas dan juga terbatasnya referensi penggunaan piranti lunak ADINA menjadi tantangan dalam penyusunan karya tulis ini. Mungkin di tempat lain sudah ada yang melakukan penelitian serupa, namun besar harapan penulis bahwa karya tulis ini dapat memacu perkembangan Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan dalam pengembangan penelitian dan penggunaan aset yang telah dimiliki baik itu berupa piranti lunak maupun piranti keras.

Bandung, Januari 2017

Septinurriandiani

(2012831001)

DAFTAR ISI

ABSTRAK

ABSTRACT

PRAKATA.....i

DAFTAR ISI.....iii

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN..... vi

DAFTAR GAMBAR..... ix

DAFTAR TABEL.....xi

DAFTAR LAMPIRANxii

BAB 1 PENDAHULUAN..... 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Inti Permasalahan 5

1.3. Tujuan Penelitian 6

1.4. Ruang Lingkup..... 6

1.5. Metode Penelitian..... 6

BAB 2 STUDI PUSTAKA 9

2.1. Sifat baja struktur 9

2.2.1. Hubungan tegangan-regangan..... 10

2.2.2. Kriteria kelelahan untuk kondisi tegangan multiaksial 12

2.2.3. Perilaku nonlinear..... 13

2.2.	Balok.....	14
2.3.	Teori dasar stabilitas struktur.....	16
2.4.	Tekuk torsi lateral pada balok.....	19
2.4.1.	Tekuk torsi lateral elastis	20
2.4.2.	Tekuk torsi lateral inelastis	22
2.4.3.	Pengaruh Posisi pembebanan.....	25
2.4.4.	Persyaratan tekuk torsi lateral berdasarkan AISC-2010...	28
2.4.5.	Pengaruh Tegangan sisa.....	30
2.4.6.	Pengaruh ketidaksempurnaan awal	32
2.5.	Metode Elemen Hingga.....	33
2.5.1.	Elemen shell.....	34
2.5.2.	Analisis tekuk elastis	35
2.5.3.	Analisis keruntuhan dengan kontrol peralihan (displacement control).....	36
2.6.	Analisis keruntuhan dengan piranti lunak ADINA v.8.9.0	36
2.7.	Studi terdahulu	37
2.7.1.	Pengaruh pengaku sejajar web terhadap tekuk torsi lateral elastis (Rosindo, 2013).....	37
2.7.2.	Tekuk torsi lateral pada balok profil I dengan pengaku sejajar web (Wijaya, 2012).....	39

2.7.3. Tekuk Lateral pada Balok Profil I dengan Pengaku Web dan Batten Plates (Takabatake, 1988)	41
BAB 3 ANALISIS ELEMEN HINGGA TERHADAP TEKUK TORSI LATERAL BALOK I DENGAN PENGAKU SEJAJAR WEB.....	43
3.1. Umum	43
3.2. Pemodelan elemen hingga	44
3.3. Pemodelan perletakan.....	45
3.4. Pemodelan pembebanan	45
3.5. Pemodelan tegangan sisa	47
3.6. Pemodelan ketidaksempurnaan awal	47
3.7. Analisis Keruntuhan balok	48
BAB 4 ANALISIS STUDI KASUS.....	51
4.1. Momen konstan untuk balok prismatis	51
4.2. Beban merata untuk balok prismatis	53
4.3. Momen konstan untuk balok dengan pengaku	56
4.4. Beban merata untuk balok dengan pengaku	64
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Daftar Notasi

- A : luas penampang
- C_b : faktor modifikasi tekuk torsi lateral untuk momen lentur tidak seragam
- C_r : faktor pengaruh akibat adanya ketidaksempurnaan awal
- C_s : faktor pengaruh akibat adanya pengaku sejajar web
- C_w : konstanta warping
- d : tinggi penampang
- E : modulus elastisitas baja
- F_y : tegangan leleh baja
- G : modulus geser
- h_0 : jarak antar pusat flens
- I_y : momen inersia penampang terhadap sumbu lemah
- J : konstanta torsi
- L : Panjang benda uji
- L_b : panjang balok tak terkekang
- L_p : panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis
- L_r : panjang bentang minimum untuk balok yang kekuatannya dimulai oleh momen kritis tekuk torsi lateral elastis
- L_s : panjang pengaku
- M_A : nilai absolut momen pada $\frac{1}{4}$ bentang tak terkekang
- M_B : nilai absolut momen pada $\frac{1}{2}$ bentang tak terkekang

M_C : nilai absolut momen pada $\frac{3}{4}$ bentang tak terkekang
 M_{max} : nilai absolut momen maksimum yang terjadi
 M_n : momen nominal
 M_p : momen plastis
 M_r : momen batas tekuk elastis
 $M_{ocr,ADINA}$: momen kritis ADINA balok tanpa pengaku
 $M_{ocr,AISC}$: momen kritis terhadap tekuk torsi lateral AISC
 M_{crs} : momen kritis ADINA balok dengan pengaku
 M_{ns} : momen kritis formula
 P : Beban aksial
 r_y : jari-jari girasi sumbu lemah
 r_{ts} : besaran penampang dalam perhitungan panjang L_r
 S_x : modulus penampang terhadap sumbu kuat
 Z : modulus plastis
 t_f : tebal *flens*
 t_s : tebal pengaku sejajar web
 t_w : tebal *web*
 ε : regangan
 ΔL : perubahan panjang
 σ : tegangan
 σ_e : tegangan efektif Von Mises
 σ_x : tegangan arah sumbu X
 σ_y : tegangan arah sumbu Y
 σ_z : tegangan arah sumbu Z

τ_{xy} : tegangan geser pada bidang X-Y

τ_{yz} : tegangan geser pada bidang Y-Z

τ_{xz} : tegangan geser pada bidang X-Z

Daftar Singkatan

ADINA *Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis*

AISC *American Institute of Steel Construction*

LRFD *Load and Resistance Factor Design*

MEH Metode Elemen Hingga

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kasus dasar tekuk torsi lateral (Galambos, 2008).....	2
Gambar 1.2 Perilaku balok (Yura, Galambos dan Ravindra, 1978).....	3
Gambar 1.3 Balok dengan pengaku sejajar web	4
Gambar 1.4 Ilustrasi distribusi tegangan sisa.....	8
Gambar 2.1 Kurva tegangan-regangan baja struktural (Segui, 2013).....	10
Gambar 2.2 Kurva tegangan-regangan yang diidealisasikan (Gere, 2012).....	14
Gambar 2.3 Distribusi tegangan pada tahapan pembebanan (Salmon, 2009).....	15
Gambar 2.4 Perilaku balok terkait dengan tumpuan lateral (Yura, Galambos, dan Ravindra, 1978; Salmon, 2009).....	23
Gambar 2.5 Formula Salvadori untuk koefisien C_b (Galambos, 2008).....	26
Gambar 2.6 Formula Kirby dan Nethercot untuk koefisien C_b (Galambos, 2008)	27
Gambar 2.7 Pengaruh posisi pembebanan (Galambos, 2008)	27
Gambar 2.8 Kuat lentur nominal sebagai fungsi dari panjang tak terkekang dan momen gradien (AISC, 2010, fig.C-F1.2).....	29
Gambar 2.9 Pola tegangan sisa tipikal untuk baja rolled shape (Salmon, 2009) ..	31
Gambar 2.10 Pengaruh tegangan sisa pada kolom (Chajes, 1974)	31
Gambar 2.11 Ketidaktersempurnaan awal pada kolom (Galambos, 2008)	32
Gambar 2.12 Ilustrasi derajat kebebasan elemen shell pada satu titik nodal.....	35
Gambar 2.13 Penempatan pengaku sejajar web pada balok I.....	38
Gambar 2.14 Analisis balok dalam penelitian ini (a) Balok dengan pengaku di kedua ujung balok, (b) Balok dengan pengaku pada 250 cm dari kedua ujung, (c) Balok dengan pengaku berada di tengah balok, dan (d)	

Balok dengan pengaku berada di ujung, 250 cm dari ujung dan di tengah. (Wijaya, 2012).....	40
Gambar 2.15 Lokasi penempatan pengaku web dan batten plates (Takabatake, 1988).....	41
Gambar 3.1 Penempatan pengaku sejajar web pada balok	45
Gambar 3.2 Pemodelan beban momen konstan	46
Gambar 3.3 Pemodelan beban merata	47
Gambar 3.4 Ilustrasi hasil analisis keruntuhan ADINA v.8.9.0.....	48
Gambar 3.5 Grafik hubungan beban-peralihan untuk profil WF 200x100x5,5x8 panjang bentang 6 m dengan variasi ketidaksempurnaan awal.....	49
Gambar 4.1 Grafik presentase peningkatan momen kritis terhadap t_s/t_w (untuk rasio $L_s/L_b=1/10$ dan $L_s/d=1$).....	59
Gambar 4.2 Grafik presentase peningkatan momen kritis terhadap L_s/d (untuk rasio $t_s/t_w=1$ dan $L_s/L_b=1/10$)	60
Gambar 4.3 Grafik presentase peningkatan momen kritis terhadap L_s/L_b pada profil WF200x100x5,5x8 (untuk rasio $t_s/t_w=1$)	60
Gambar 4.4 Grafik presentase peningkatan momen kritis terhadap L_s/L_b pada profil WF300x150x6,5x9 (untuk rasio $t_s/t_w=1$)	61
Gambar 4.5 Grafik presentase peningkatan momen kritis terhadap L_s/L_b pada profil WF400x200x8x12 (untuk rasio $t_s/t_w=1$)	61
Gambar 4.6 Grafik presentase peningkatan momen kritis terhadap L_s/L_b pada profil WF500x200x10x16 (untuk rasio $t_s/t_w=1$)	62

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variasi pemodelan struktur.....	43
Tabel 3.2 Properti penampang.....	44
Tabel 4.1 Perbandingan momen kritis untuk momen konstan pada balok prismatis	51
Tabel 4.2 Perbandingan momen kritis untuk beban merata pada balok prismatis	53
Tabel 4.3 Peningkatan momen kritis momen konstan untuk balok dengan pengaku pada profil WF 200x100x5,5x8.....	56
Tabel 4.4 Peningkatan momen kritis momen konstan untuk balok dengan pengaku pada profil WF 300x150x6,5x9.....	57
Tabel 4.5 Peningkatan momen kritis momen konstan untuk balok dengan pengaku pada profil WF 400x200x8x13.....	57
Tabel 4.6 Peningkatan momen kritis momen konstan untuk balok dengan pengaku pada profil WF 500x200x10x16.....	58
Tabel 4.7 Peningkatan momen kritis beban merata untuk balok dengan pengaku pada profil WF 200x100x5,5x8.....	64
Tabel 4.8 Peningkatan momen kritis beban merata untuk balok dengan pengaku pada profil WF 300x150x6,5x9.....	65
Tabel 4.9 Peningkatan momen kritis beban merata untuk balok dengan pengaku pada profil WF 400x200x8x13.....	65
Tabel 4.10 Peningkatan momen kritis beban merata untuk balok dengan pengaku pada profil WF 500x200x10x16.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	Perhitungan momen kritis penyelesaian eksak profil WF200x100x5,5x8.....	75
LAMPIRAN 2	Peningkatan momen kritis akibat beban momen konstan dan beban merata	79
LAMPIRAN 3	Grafik hubungan beban dan peralihan hasil analisis keruntuhan ADINA v.8.9.0.....	99

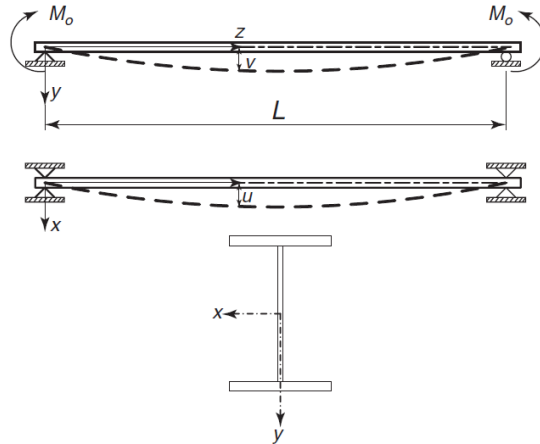
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Solusi tekuk pada balok yang diusulkan oleh Timoshenko dan Gere (1961) telah menjadi acuan untuk memperhitungkan momen kritis balok yang mengalami tekuk lateral. Galambos (2008) memberikan kasus dasar balok yang mengalami momen seragam sebagai acuan untuk kasus tekuk torsi lateral. Kasus dasar ini adalah balok yang mempunyai ciri yaitu: balok berperilaku elastis, balok mempunyai perletakan sederhana, balok mengalami momen seragam pada sumbu utamanya, penampang balok adalah simetri ganda (pusat masa dan pusat geser berimpit), lentur terjadi pada sumbu kuat.

Suatu balok baja sayap-lebar yang lurus sempurna yang mengalami momen seragam terhadap sumbu kuat (sumbu x , ditunjukkan pada Gambar 1.1) akan mengalami lentur pada bidang momen yang diterapkan selama momen yang terjadi dibawah nilai kritis tertentu. Namun, ketika beban kritis tercapai, bifurkasi dari keseimbangan akan terjadi, dan kegagalan akibat tekuk lateral diawali oleh defleksi lateral dan puntir pada balok tersebut. Untuk kasus dengan bentuk tekuk berupa defleksi lateral dan sudut puntir maka kondisi tidak stabil ini disebut tekuk torsi lateral (Galambos, 2008).

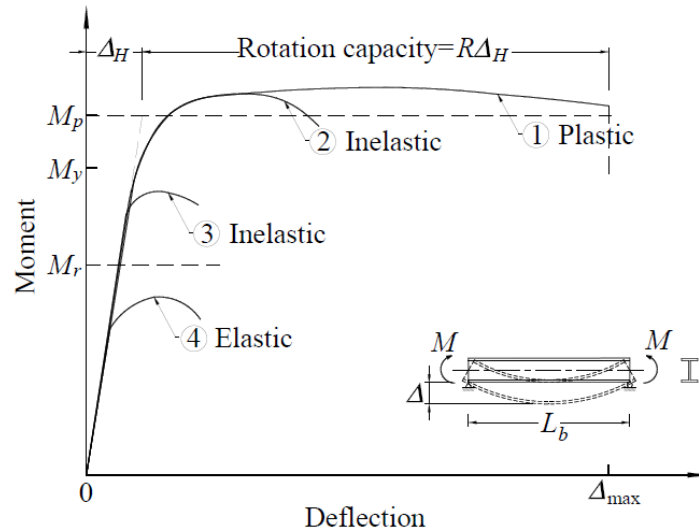


Gambar 1.1 Kasus dasar tekuk torsi lateral (Galambos, 2008)

Tekuk torsi lateral merupakan salah satu kondisi batas yang dapat mengendalikan kekuatan balok. Yura, Galambos dan Ravindra (1978) menyatakan empat kategori perilaku umum balok ditunjukkan pada Gambar 1.2, yaitu:

1. Kekuatan momen plastis M_p , dicapai bersamaan dengan deformasi besar. Kemampuan deformasi ini disebut sebagai kapasitas rotasi, yaitu kondisi *flange* mengalami regangan besar tanpa ketidakstabilan (penampang sepenuhnya plastis).
2. Perilaku inelastis ketika kekuatan momen plastis M_p , dicapai tetapi kapasitas rotasi sedikit terjadi. Hal ini terjadi yang salah satunya saat tumpuan lateral tidak cukup untuk menahan terjadinya tekuk torsi lateral, sementara itu kondisi *flange* inelastis.
3. Perilaku inelastis ketika kekuatan momen M_r , saat tegangan sisa menyebabkan dimulainya perilaku inelastis, dicapai atau dilampaui. Namun, tekuk torsi lateral mencegah tercapainya kekuatan momen plastis M_p .

4. Perilaku elastis ketika kekuatan momen M_{cr} , dikendalikan oleh tekuk elastis, yang salah satunya tekuk torsi lateral.

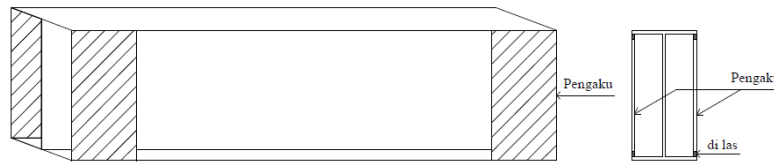


Gambar 1.2 Perilaku balok (Yura, Galambos dan Ravindra, 1978)

Variabel utama yang mempengaruhi kekuatan tekuk torsi lateral adalah jarak antara pengekang/*bracing* lateral dan/atau torsional. Takabatake (1988) melakukan penelitian yang menyajikan pembahasan umum mengenai tekuk lateral pada balok berpenampang I simetri ganda dan seragam dengan memasang pengaku *web* (pengaku dipasang tegak lurus *web*) dan *batten plates* (pengaku yang dipasang sejajar *web*). Secara matematis hasilnya menunjukkan balok yang diberi pengaku *web* dan *batten plates* dapat meningkatkan momen kritis. Untuk ragam tekuk lateral, lokasi yang paling tepat untuk pengaku *web* dan *batten plates* berada pada ujung balok. Penggunaan *batten plates* lebih efektif dibandingkan dengan pengaku *web*, karena mengubah balok dari penampang terbuka menjadi penampang tertutup. Pada tahun 1991 Takabatake melakukan uji eksperimental tekuk lateral pada balok profil I dengan pengaku *web* dan *batten plates*. Hasilnya memodifikasi persamaan konstanta torsi (pada balok dengan pengaku *web* dan *batten plates*) dengan

penambahan unsur κ (kappa) yang merupakan koefisien panjang efektif. Nilai κ dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran pengaku *web* dan *batten plates*, tetapi belum bisa membuktikan pengaruh ukuran sampel pengaku terhadap nilai κ .

Wijaya (2012) telah melakukan penelitian tentang tekuk torsi lateral dengan pengaku sejajar *web* (Gambar 1.3). Namun parameter yang ditinjau sangat terbatas, yaitu hanya meninjau satu profil saja yaitu WF 400x200x8x13. Parameter lain yang ditinjau adalah panjang dan tebal pengaku. Pengaruh besaran penampang belum ditinjau dan persamaan umum untuk peningkatan momen kritis belum diperoleh.



Gambar 1.3 Balok dengan pengaku sejajar *web*

Rosindo (2013) telah mengembangkan penelitian yang dilakukan Wijaya (2012). Penampang balok yang ditinjau adalah WF 200x100x5,5x8, WF 300x150x6,5x9, WF 400x200x8x10, dan WF500x200x10x16 dengan variasi panjang balok 6 m sampai 15 m, ukuran tebal pengaku 5,5 mm sampai 12 mm, serta panjang pengaku 100 mm sampai 750 mm. kondisi pembebanan yang dianalisis adalah beban momen seragam, beban merata dan beban terpusat. Material yang digunakan bersifat elastis linear, homogen dan isotropik. Analisis yang digunakan adalah tekuk torsi lateral elastis. Hasilnya diperoleh tiga parameter nondimensional yang menentukan peningkatan momen kritis yaitu rasio panjang pengaku dibanding panjang balok (L_s/L_b), rasio panjang pengaku dibanding tinggi penampang (L_s/d) dan rasio tebal pengaku dibanding tebal *web* (t_s/t_w). Selain itu diperoleh faktor

modifikasi pengaku sejajar *web* terhadap tekuk torsi elastis (C_s) untuk momen konstan, beban terpusat, dan beban merata.

Dalam penelitian ini, merupakan pengembangan dari penelitian Rosindo (2013) yaitu meningkatkan besarnya momen kritis dengan memasang pengaku sejajar *web*, sekaligus mencari persamaan umum untuk peningkatan momen kritis tekuk torsi lateral inelastis. Material yang digunakan berupa plastis-multilinear, dengan memasukkan nilai tegangan sisa. Selain itu, pada analisis tekuk balok diberikan nilai ketidaksempurnaan awal berupa peralihan lateral.

1.2. Inti Permasalahan

Sampai saat ini belum adanya penelitian mengenai pengaruh pengaku yang dipasang pada ujung flens sejajar dengan *web* terhadap besarnya peningkatan momen kritis suatu balok. Parameter yang diperkirakan mempengaruhi besarnya peningkatan momen kritis akibat dipasangnya pengaku tersebut adalah:

1. Letak pengaku
2. Panjang pengaku
3. Tebal pengaku
4. Panjang balok
5. Ketidaksempurnaan awal
6. Besaran-besaran penampang

Selain itu, akan dicari koefisien dari persamaan momen akibat pengaku yang dipasang pada ujung flens sejajar dengan *web*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari perilaku tekuk torsi lateral inelastis pada balok penampang I dengan pengaku sejajar web dengan menggunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga ini digunakan untuk menghitung besarnya momen kritis balok pada kondisi tekuk torsi lateral inelastis. Selain itu, mencari koefisien dari persamaan momen akibat pengaku yang dipasang pada ujung flens sejajar web.

1.4. Ruang Lingkup

Beberapa ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Balok tumpuan sederhana dengan penampang berbentuk I.
2. Pada ujung balok rotasi puntir ditahan tetapi *warping* dapat terjadi.
3. Material baja adalah plastis-multilinier (material menggunakan nilai *true stress* dan *true strain*; material struktur memiliki tegangan sisa; dan struktur diberi ketidaksempurnaan awal)
4. Penampang bersifat kompak.
5. Beban yang diberikan berupa: momen seragam, dan beban merata.
6. Lokasi pengaku sejajar web berada di ujung balok.

1.5. Metode Penelitian

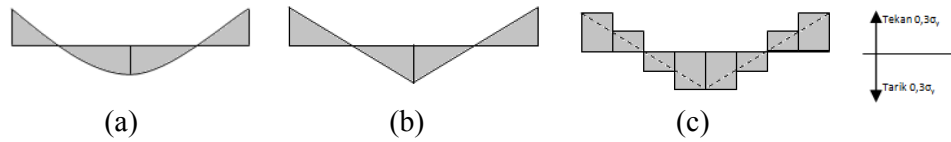
Penelitian diawali dengan studi pustaka untuk mendapatkan pemahaman mengenai kekuatan tekuk torsi lateral elastis dan inelastis dari balok baja. Pada penelitian ini perhitungan kekuatan tekuk torsi lateral menggunakan metode elemen hingga non-linear dengan beban *incremental* yang dibantu program ADINA v 8.9.0. Verifikasi

analisis ADINA v8.9.0 telah dilakukan dengan membandingkan perhitungan momen kritis balok prismatis dengan hasil perhitungan rumus analitis momen kritis tekuk torsi lateral berdasarkan AISC. Hasil verifikasi menyatakan persentase perbedaan adalah 2,5% untuk panjang balok tak terkekang dalam rentang elastis dan 8% untuk panjang balok tak terkekang dalam rentang inelastis (tidak disajikan dalam karya tulis ini).

Kemudian melanjutkan penelitian Rosindo (2013) menggunakan ukuran balok yang sama sebagai salah satu usaha verifikasi hasil perhitungan kuat tekuk torsi lateral balok baja. Terdapat dua kondisi model balok yang digunakan, yaitu balok tanpa pengaku sejajar *web* dan balok dengan pengaku sejajar *web*. Selanjutnya, model balok dianalisis momen kritisnya lalu dibandingkan nilai momen kritis balok tanpa pengaku dan dengan pengaku sejajar *web*.

Pada penelitian ini, momen kritis diperoleh dengan menggunakan metode elemen hingga non-linear dengan beban yang ditingkatkan secara bertahap. Oleh karena itu struktur perlu diberikan ketidaksempurnaan awal. Ketidaksempurnaan awal dimodelkan dengan memberikan variasi peralihan lateral di tengah bentang sebesar $L_b/1000$ dan $L_b/1500$ yang bentuk deformasinya mengikuti ragam tekuk pertama.

Selain itu, material struktur juga mempunyai tegangan sisa. Pada penelitian ini tegangan sisa dimodelkan dengan memodifikasi kekuatan leleh material baja. Biasanya distribusi tegangan sisa yang berbentuk parabolis (Gambar 1.4.a) disederhanakan menjadi distribusi linear (Gambar 1.4.b), sedangkan pada penelitian ini distribusi tegangan sisa yang digunakan disederhanakan lagi menjadi distribusi tegangan blok (Gambar 1.4.c).



Gambar 1.4 Ilustrasi distribusi tegangan sisa

Penelitian ini menggunakan analisis keruntuhan balok pada program ADINA v.8.9.0 dengan asumsi kinematik yang digunakan adalah peralihan besar (*large displacement*) dan regangan besar (*large strain*). Data yang diolah dari hasil analisis keruntuhan adalah pencatatan waktu perhitungan, peralihan lateral, dan beban pada suatu titik tertentu untuk setiap pencatatan waktu yang dilakukan. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan perhitungan momen kritis dengan menggunakan hasil analisis keruntuhan dari program ADINA v.8.9.0 dengan momen kritis AISC (eksak).

Karya tulis ini dibagi menjadi beberapa Bab. Bab 1 pendahuluan yang memberikan gambaran mengenai karya tulis ini, lalu Bab 2 yang menjelaskan secara singkat ulasan mengenai dasar teori yang digunakan dalam analisis maupun pemodelan struktur. Selanjutnya, Bab 3 yang menjelaskan analisis elemen hingga. Bab 4 merupakan penjelasan mengenai analisis studi kasus. Terakhir Bab 5 yang merupakan kesimpulan dan saran.