

SKRIPSI

**ANALISIS TEKUK INELASTIS *WEB* BAJA
BERLUBANG LINGKARAN YANG MENGALAMI
GESER**



**RAJAWALI MUHAMMAD AKBAR
NPM : 2014410059**

PEMBIMBING: Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DESEMBER 2017**

SKRIPSI

**ANALISIS TEKUK INELASTIS *WEB* BAJA
BERLUBANG LINGKARAN YANG MENGALAMI
GESER**



**RAJAWALI MUHAMMAD AKBAR
NPM : 2014410059**

PEMBIMBING: Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DESEMBER 2017**

SKRIPSI

**ANALISIS TEKUK INELASTIS *WEB* BAJA
BERLUBANG LINGKARAN YANG MENGALAMI
GESER**



**RAJAWALI MUHAMMAD AKBAR
NPM : 2014410059**

**BANDUNG, 20 DESEMBER 2017
PEMBIMBING:**

Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DESEMBER 2017**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama Lengkap : Rajawali Muhammad Akbar

NPM : 2014410059

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul: "ANALISIS TEKUK INELASTIS *WEB* BAJA BERLUBANG LINGKARAN YANG MENGALAMI GESER" 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, 20 Desember 2017



Rajawali Muhammad Akbar

2014410059

ANALISIS TEKUK INELASTIS *WEB* BAJA BERLUBANG LINGKARAN YANG MENGALAMI GESER

Rajawali Muhammad Akbar
NPM: 2014410059

Pembimbing: Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DESEMBER 2017

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya ilmu rekayasa, muncul modifikasi-modifikasi pada material baja yang ditujukan untuk menghasilkan rancangan yang optimal. Salah satu modifikasi yang dilakukan yaitu dengan membuat lubang lingkaran pada bagian badan (*web*) balok berpenampang I. Balok berpenampang I memiliki ciri khas dimana bagian badan (*web*) memikul hampir seluruh dari geser yang diterima dan bagian sayap (*flange*) memikul momen lentur. Stabilitas balok berpenampang I yang telah dibuat lubang lingkaran pada bagian *web*-nya tentu tidak sama dengan balok berpenampang I yang tidak dibuat lubang lingkaran pada bagian *web*-nya. Oleh karena itu dilakukan analisis dengan menggunakan metode elemen hingga untuk menganalisis permasalahan stabilitas berupa tekuk elastis dan tekuk inelastis. Analisis dilakukan dengan memodelkan bagian *web* balok berpenampang I yang terletak diantara dua pengaku arah *transversal* (*stiffener*) terdekat dan bagian sayap (*flange*) dengan pembebanan geser murni. Tekuk elastis dianalisis secara linier sementara tekuk inelastis dianalisis secara nonlinier. Ragam tekuk pertama hasil dari analisis tekuk elastis digunakan sebagai kondisi ketidaksempurnaan awal pada analisis tekuk inelastis. Kedua analisis tersebut ditujukan untuk memperoleh nilai gaya geser kritis (V_{cr}) yang terjadi dan sekaligus menyelidiki seberapa besar pengurangan gaya geser kritis (V_{cr}) yang terjadi pada bagian *web* balok berpenampang I berlubang lingkaran yang dihitung relatif terhadap *web* balok berpenampang I yang tidak berlubang.

Kata Kunci: *web*, geser murni, tekuk elastis, tekuk inelastis

ANALYSIS OF INELASTIC BUCKLING OF A STEEL WEB WITH CIRCULAR OPENING

Rajawali Muhammad Akbar
NPM: 2014410059

Advisor: Prof. Bambang Suryatmono, Ph.D.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL
ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Number: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DECEMBER 2017

ABSTRACT

Along with the development of engineering science, there are modifications to steel material intended to produce optimal design. One of the modifications is by making a circular opening on the web part of the I-shaped beam. The I-shaped beam has a characteristic in which the web carries most of the shear force while the flanges carry moment. The stability of the I-shaped beam with circular opening on the web section is certainly not the same as the I-shaped beam without circular opening on the web section. Therefore, the analysis uses finite element method to analyze the problems of stability in the form of elastic buckling and inelastic buckling. The analysis is performed by modeling the web section of the I-shaped beam located between the two adjacent stiffeners and the flanges with pure shear loading. The elastic buckling was linearly analyzed while the inelastic buckling was analyzed nonlinearly. The first buckling mode of the elastic buckling analysis is used as an initial imperfections in the inelastic buckling analysis. Both analyzes are to obtain the critical shear force (V_{cr}) and at the same time investigating how much critical shear force (V_{cr}) reduction that occurs in the web section of the I-shaped beam with circular opening calculated relative to web section of the I-shaped beam without circular opening.

Keywords: web, pure shear, elastic buckling, inelastic buckling

PRAKATA

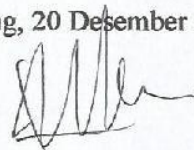
Puji serta syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Analisis Tekuk Inelastis Web Baja Berlubang Lingkaran Yang Mengalami Geser*. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-1 Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan

Dalam penyusunan skripsi ini banyak tantangan dan hambatan yang dihadapi penulis, tetapi berkat bimbingan, saran, kritik serta dorongan berupa semangat dari berbagai pihak, skripsi ini dapat diselesaikan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

- 1) Bapak Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta saran yang sangat membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.
- 2) Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro, Bapak Dr. Paulus Karta Wijaya, Ibu Buen Sian, Ir., M.T., Ibu Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc., dan Ibu Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T. yang telah memberikan masukan-masukan dalam penulisan skripsi ini.
- 3) Sonatha Cristianto, S.T. yang telah membagikan berbagai ilmu dalam skripsi ini dan Christian Alexander Tjiptohardojo yang telah membantu penulisan skripsi ini.
- 4) Garry Mahendra, Alfred Nobel, dan Andre Fabrianto Jonathan yang telah memberikan banyak bantuan selama masa perkuliahan.
- 5) Bapak Ir. Ircham Norman, Ibu Walia Gustini, dan seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, dan doa.
- 6) Annisa A. S. D. yang selalu setia menyemangati.
- 7) Sahabat-sahabat sekaligus keluarga dari SMP N 5 Bandung, SMA N 19 Bandung, dan Sipil UNPAR 2014 yang telah mendoakan dan senantiasa memberikan semangat.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran agar dapat memperbaikinya di masa mendatang. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.

Bandung, 20 Desember 2017



Rajawali Muhammad Akbar

2014410059

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penulisan	1-2
1.4 Pembatasan Masalah	1-3
1.5 Metode Penelitian	1-4
1.6 Sistematika Penulisan	1-4
BAB 2 DASAR TEORI	2-1
2.1 Tekuk <i>Web</i> yang Mengalami Geser (Salmon et al 2009)	2-1
2.1.1 Tekuk Elastis <i>Web</i> yang Mengalami Geser Murni	2-1
2.1.2 Tekuk Inelastis <i>Web</i> yang Mengalami Geser Murni	2-3
2.2 Metode Elemen Hingga (Hadipratomo 2005)	2-3
2.2.1 Elemen Satu Dimensi	2-4
2.2.2 Elemen Dua Dimensi	2-5
2.2.3 Elemen Selaput (<i>Shell</i>)	2-5
2.2.4 Elemen Tiga Dimensi	2-6
2.2.5 Elemen Simetris-Aksial	2-6

2.3	Analisis Linier dan Nonlinier (Huei-Huang Lee 2014)	2-6
2.4	Teori Leleh Von Mises (Chen and Jian Han 2007)	2-7
2.5	Perbandingan Antara Metode Aplikasi Beban (Tian Chen 2014)	2-9
BAB 3 STUDI KASUS		3-1
3.1	Pengenalan Analisis Tekuk dengan <i>ANSYS Workbench</i>	3-1
3.2	Langkah-Langkah Pengujian dengan Metode Elemen Hingga	3-2
3.2.1	Langkah-Langkah Pengujian Tekuk Elastis	3-2
3.2.2	Langkah-Langkah Pengujian Tekuk Inelastis	3-10
3.2.3	Langkah-Langkah Menampilkan Tegangan Von Mises	3-21
3.3	Interpretasi Output Hasil Pengujian.....	3-22
3.3.1	Output Hasil Analisis Tekuk Elastis.....	3-22
3.3.2	Output Hasil Analisis Tekuk Inelastis	3-23
3.3.3	Tegangan Von Mises <i>Web</i> Baja Berlubang Lingkaran	3-24
BAB 4 ANALISIS HASIL PENGUJIAN		4-1
4.1	Verifikasi Pemodelan Elemen Hingga.....	4-1
4.2	Perbandingan Hasil Analisis Tekuk Elastis Dan Tekuk Inelastis.....	4-2
4.3	Pengaruh Ukuran Lubang Terhadap Gaya Geser Kritis Inelastis.....	4-6
4.3.1	Deformasi Tekuk Inelastis.....	4-9
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		5-1
5.1	Kesimpulan	5-1
5.2	Saran	5-2
DAFTAR PUSTAKA.....		xix
LAMPIRAN 1		L1-1
LAMPIRAN 2		L2-1
LAMPIRAN 3		L3-1
LAMPIRAN 4		L4-1

DAFTAR NOTASI

V_{cr}	:	Gaya Geser Kritis (kN)
A_n	:	Luas Bersih <i>Web</i> (mm ²)
h	:	Tinggi <i>Web</i> (mm)
t_w	:	Tebal <i>Web</i> (mm)
a	:	Lebar <i>Web</i> (mm)
d_h	:	Diameter Lubang Lingkaran (mm)
τ_{cr}	:	Tegangan Geser Kritis (N/mm ²)
λ	:	<i>Load Multiplier</i>
E	:	Modulus Elastisitas (MPa)
ν	:	Angka <i>Poisson</i>
π	:	Konstanta Phi
k	:	Konstanta Geometri
MEH	:	Metode Elemen Hingga

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jalur Perpipaian pada Balok Baja Berlubang Lingkaran.....	1-1
Gambar 1.2 <i>Web</i> Baja Berlubang Lingkaran	1-3
Gambar 1.3 Kurva Tegangan-Regangan Material <i>Elastic Perfectly Plastic</i>	1-3
Gambar 2.1 Teori Klasik <i>Web</i> yang Mengalami Geser Murni	2-1
Gambar 2.2 Dua Contoh Kasus Perbedaan Rasio Aspek.....	2-2
Gambar 2.3 Tekuk <i>Web</i> Akibat Geser Saja	2-3
Gambar 2.4 Koordinat Silinder Dua Dimensi.....	2-6
Gambar 2.5 Analisis Linier	2-7
Gambar 2.6 Analisis Nonlinier	2-7
Gambar 2.7 Kontrol Peralihan dan Kontrol Beban.....	2-9
Gambar 2.8 Perbandingan Kurva Kontrol Beban dan Kontrol Peralihan.....	2-10
Gambar 3.1 Memasukkan <i>Static Structural</i> ke dalam <i>Project Schematic</i>	3-2
Gambar 3.2 Menghubungkan Fitur <i>Eigenvalue Buckling</i> dengan <i>Static Structural</i>	3-3
Gambar 3.3 Aplikasi <i>DesignModeler</i>	3-3
Gambar 3.4 Sketsa Pemodelan pada Aplikasi <i>DesignModeler</i>	3-4
Gambar 3.5 Mengisi Ketebalan.....	3-4
Gambar 3.6 Geometri Pemodelan	3-5
Gambar 3.7 Pemodelan Secara Linier pada <i>ANSYS Mechanical</i>	3-5
Gambar 3.8 Diskretisasi Elemen.....	3-6
Gambar 3.9 Diskretisasi Elemen dengan Pilihan <i>Face Meshing</i>	3-6
Gambar 3.10 Pemberian Kondisi Batas	3-7
Gambar 3.11 Mengaplikasikan Beban Geser Terbagi Rata.....	3-8
Gambar 3.12 Kondisi Batas pada Analisis Tekuk Elastis.....	3-8
Gambar 3.13 Memilih Ragam Tekuk Pertama Analisis Tekuk Elastis	3-9
Gambar 3.14 Menampilkan Hasil Analisis	3-9
Gambar 3.15 Hasil Analisis Tekuk Elastis	3-10
Gambar 3.16 Membuat <i>Input File</i>	3-11
Gambar 3.17 Menyimpan Data <i>Input File</i>	3-11
Gambar 3.18 Tampilan Isi <i>Input file</i>	3-12
Gambar 3.19 Membuat Perintah <i>upgeom</i> pada <i>Input File</i>	3-12

Gambar 3.20 Memasukkan Kerangka Modul <i>Mechanical APDL</i>	3-14
Gambar 3.21 Memasukkan Kerangka Modul <i>Finite Element Modeler</i>	3-14
Gambar 3.22 Memasukkan Kerangka Modul <i>Static Structural</i> yang Baru.....	3-15
Gambar 3.23 Memasukkan Data Material <i>Elastis Perfectly Plastic</i>	3-16
Gambar 3.24 Pemodelan Secara Nonlinier pada <i>ANSYS Mechanical</i>	3-16
Gambar 3.25 Mendefinisikan Material.....	3-17
Gambar 3.26 Pemberian Tumpuan.....	3-17
Gambar 3.27 Kondisi Batas pada Analisis Tekuk Inelastis.....	3-18
Gambar 3.28 Mengaktifkan <i>Auto Time Stepping</i> dan <i>Large Deflection</i>	3-19
Gambar 3.29 Hasil dari Percobaan Pembebanan Pertama Analisis Tekuk Inelastis	3-19
Gambar 3.30 <i>Tabular Data</i>	3-20
Gambar 3.31 Deformasi Tekuk Inelastis	3-21
Gambar 3.32 Tegangan Von Mises pada Substep Terakhir Analisis Tekuk Inelastis.....	3-22
Gambar 3.33 Hasil Analisis Tekuk Elastis.....	3-22
Gambar 3.34 Kurva Beban-Peralihan Analisis Tekuk Inelastis	3-23
Gambar 3.35 Hasil Analisis Tekuk Inelastis	3-24
Gambar 3.36 Tegangan Von Mises saat Beban Sebesar 25% V_{cr} inelastis	3-25
Gambar 3.37 Tegangan Von Mises saat Beban Sebesar 50% V_{cr} inelastis	3-25
Gambar 3.38 Tegangan Von Mises saat Beban Sebesar 75% V_{cr} inelastis	3-26
Gambar 3.39 Tegangan Von Mises saat Beban Sebesar V_{cr} inelastis	3-26
Gambar 4.1 Kurva Beban Geser Terbagi Rata Inelastis Terhadap Peralihan ($a/h =$ 1.00).....	4-6
Gambar 4.2 Kurva Beban Geser Terbagi Rata Inelastis Terhadap Peralihan ($a/h =$ 1.25).....	4-6
Gambar 4.3 Kurva Beban Geser Terbagi Rata Inelastis Terhadap Peralihan ($a/h =$ 1.50).....	4-7
Gambar 4.4 V_{cr} Inelastis (%) Relatif Terhadap <i>Web</i> Baja Tidak Berlubang untuk Semua Nilai a/h	4-7
Gambar 4.5 V_{cr} Inelastis untuk setiap Rasio d_h/h pada Masing-Masing Rasio Aspek.....	4-8

Gambar 4.6 Deformasi Tekuk Inelastis untuk $a/h = 1.00$	4-9
Gambar 4.7 Deformasi Tekuk Inelastis untuk $a/h = 1.25$	4-11
Gambar 4.8 Deformasi Tekuk Inelastis untuk $a/h = 1.50$	4-13

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Analisis Elemen Hingga dengan Rumus Timoshenko dan Krieger.....	4-1
Tabel 4.2 Ukuran Penampang <i>Web</i> dengan $a/h=1.00$	4-3
Tabel 4.3 Perbandingan V_{cr} Elastis dan V_{cr} Inelastis pada $a/h = 1.00$	4-3
Tabel 4.4 Ukuran Penampang <i>Web</i> dengan $a/h=1.25$	4-4
Tabel 4.5 Perbandingan V_{cr} Elastis dan V_{cr} Inelastis pada $a/h = 1.25$	4-4
Tabel 4.6 Ukuran Penampang <i>Web</i> dengan $a/h=1.50$	4-5
Tabel 4.7 Perbandingan V_{cr} Elastis dan V_{cr} Inelastis pada $a/h = 1.50$	4-5

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perhitungan Tegangan Geser Kritis Timoshenko & Woinowski-Krieger dan MEH
- Lampiran 2 Perhitungan V_{cr} Elastis dan V_{cr} Inelastis untuk $a/h = 1.00$
- Lampiran 3 Perhitungan V_{cr} Elastis dan V_{cr} Inelastis untuk $a/h = 1.25$
- Lampiran 4 Perhitungan V_{cr} Elastis dan V_{cr} Inelastis untuk $a/h = 1.50$

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan suatu jenis material yang sering digunakan dalam konstruksi. Di Indonesia penggunaan baja semakin diminati karena memiliki standar mutu yang baku. Seiring dengan berkembangnya ilmu rekayasa, berkembang juga modifikasi-modifikasi pada material baja yang ditujukan untuk menghasilkan rancangan yang optimal. Salah satu modifikasi yang dilakukan yaitu dengan membuat lubang lingkaran pada bagian badan (*web*) balok berpenampang I.

Pembuatan lubang lingkaran pada bagian *web* balok berpenampang I bertujuan untuk mengurangi berat sendiri yang dapat berpengaruh menekan biaya konstruksi. Selain itu lubang pada *web* juga dapat digunakan sebagai jalur perpipaian mekanik dan elektrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Jalur Perpipaian pada Balok Baja Berlubang Lingkaran

(sumber : <http://www.newsteelconstruction.com/wp/providing-unrivalled-support/>)

Balok berpenampang I memiliki ciri khas dimana bagian badan (*web*) memikul hampir seluruh dari gaya geser yang diterima dan bagian sayap (*flange*) memikul momen lentur (Salmon et al 2009). Permasalahan stabilitas yang dapat terjadi pada bagian *web* balok berpenampang I adalah tekuk akibat geser. Pembuatan lubang lingkaran pada bagian badan *web* balok berpenampang I memiliki beberapa keuntungan jika ditinjau dari aspek ekonomi dan arsitektural,

namun hal tersebut tentu dapat menyebabkan menurunnya kapasitas balok dalam memikul gaya geser.

Dalam beberapa kasus, analisis tekuk elastis yang dilakukan secara linier hanya menyediakan solusi untuk memperoleh batas atas dari besaran beban kritis, sehingga hasil yang didapatkan menjadi tidak konservatif. Namun ada beberapa keuntungan dari analisis secara linier yaitu, analisis relatif cepat, dan hasil dari analisis linier berupa ragam tekuk pertama dapat digunakan sebagai bentuk ketidaksempurnaan awal dalam analisis tekuk nonlinier (Michael Bak 2014).

Pada kondisi aktual, beban kritis hasil dari analisis linier seringkali sulit dipenuhi karena respon struktur terhadap beban lebih dipengaruhi oleh sifat-sifat nonlinier, seperti material dan geometrinya yang bersifat nonlinier. Oleh karena itu hasil dari analisis nonlinier akan memberikan hasil yang lebih baik, karena beban kritis yang terjadi sudah dipengaruhi oleh faktor-faktor aktual yang mempengaruhi respon struktur terhadap beban.

1.2 Inti Permasalahan

Balok berpenampang I memiliki ciri khas dimana bagian *web* memikul hampir seluruh dari gaya geser yang diterima. Adanya lubang lingkaran pada bagian *web* tentu dapat memengaruhi kapasitas balok berpenampang I dalam memikul gaya geser. Dalam skripsi ini dilakukan analisis secara linier untuk mendapatkan gaya geser kritis (V_{cr}) elastis dan analisis secara nonlinier untuk mendapatkan V_{cr} inelastis.

1.3 Tujuan Penulisan

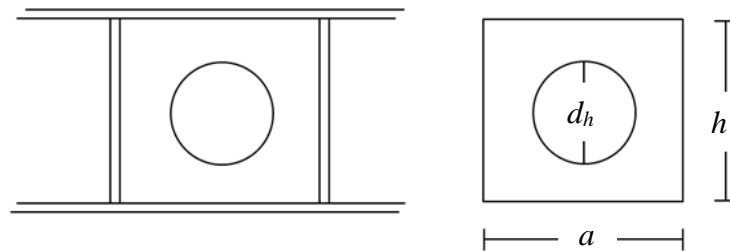
Tujuan penulisan skripsi ini adalah :

- 1) Membandingkan hasil analisis tekuk elastis dan analisis tekuk inelastis.
- 2) Mempelajari dampak adanya lubang lingkaran pada bagian *web* balok berpenampang I yang mengalami geser, dengan variasi rasio aspek (a/h) dan variasi rasio ukuran diameter lubang lingkaran terhadap tinggi *web* (d_h/h) pada analisis tekuk inelastis.

1.4 Pembatasan Masalah

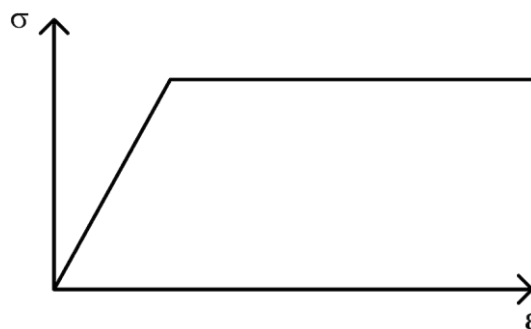
Pembatasan masalah dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Elemen struktur yang dianalisis adalah bagian *web* balok berpenampang I berbentuk persegi dan persegi panjang yang terletak diantara bagian sayap (*flange*) dan dua pengaku arah transversal (*stiffener*) terdekat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Web Baja Berlubang Lingkaran

- 2) Ragam tekuk pertama dari analisis tekuk elastis akan digunakan sebagai bentuk ketidaksempurnaan awal dari analisis tekuk inelastis.
- 3) Amplitudo dari ragam tekuk pertama adalah sebesar akar dari luas bersih *web* berbanding 1500 ($\frac{\sqrt{A_n}}{1500}$).
- 4) Bagian *web* dimodelkan dengan tumpuan sederhana dan beban geser terbagi rata pada setiap tepi sesuai dengan arah geser murni.
- 5) Material baja yang digunakan adalah BJ41.
- 6) Kurva tegangan-regangan yang digunakan adalah *elastic perfectly plastic* (Gambar 1.3).



Gambar 1.3 Kurva Tegangan-Regangan Material *Elastic Perfectly Plastic*

- 7) Tinggi *web* (h) adalah 500 mm, ketebalan badan (t_w) adalah 6 mm, dan lebar *web* (a) divariasikan berdasarkan rasio aspek (a/h) 1.00, 1.25, dan 1.50.
- 8) Pada setiap rasio aspek divariasikan rasio (d_h/h) yaitu sebesar 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, .030, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50.
- 9) Letak titik pusat lubang lingkaran bertepatan dengan titik pusat persegi atau persegi panjang.
- 10) Tegangan sisa tidak diperhitungkan

1.5 Metode Penelitian

Pada tahap awal, analisis elemen hingga yang dibantu dengan perangkat lunak ANSYS *Workbench* dilakukan secara linier untuk memperoleh hasil analisis tekuk elastis. Kemudian hasil yang diperoleh, diverifikasi dengan rumus tegangan geser kritis (τ_{cr}) yang dibuat oleh Timoshenko dan Woinowski-Krieger. Pada bagian verifikasi, model yang akan diverifikasi adalah model yang masih memenuhi parameter-parameter yang dibuat dalam rumusan tegangan geser kritis Timoshenko dan Woinowski-Krieger, yaitu *web* berbentuk persegi atau persegi panjang dengan tumpuan sederhana yang mengalami geser murni.

Setelah melakukan verifikasi pada model *web* yang tidak berlubang, analisis dilakukan pada seluruh model secara linier dan nonlinier. Dari hasil analisis linier diperoleh V_{cr} elastis dan ragam tekuk pertama. Ragam tekuk pertama yang diperoleh dari analisis tekuk elastis, kemudian digunakan sebagai bentuk ketidaksempurnaan awal pada analisis tekuk inelastis.

V_{cr} elastis dan V_{cr} inelastis dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan hasil yang terjadi. Kemudian V_{cr} inelastis yang diperoleh pada setiap model yang ditinjau dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh adanya lubang lingkaran terhadap besaran V_{cr} inelastis yang terjadi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini mengikuti pedoman penulisan skripsi yang berlaku pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, antara lain:

1) BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan skripsi.

2) BAB 2 DASAR TEORI

Membahas tentang teori-teori dan rumus-rumus yang digunakan dalam analisis skripsi ini.

3) BAB 3 STUDI KASUS

Membahas tentang pemodelan analisis tekuk elastis dan analisis tekuk inelastis yang dibantu dengan perangkat lunak *ANSYS Workbench*.

4) BAB 4 ANALISIS HASIL UJI

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

5) BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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