

SKRIPSI

**ANALISIS TEGANGAN UTAMA PADA *WEB BOX*
GIRDER JEMBATAN PRATEGANG KONSTRUKSI
BALANCED CANTILEVER DENGAN KONDISI *TAPERED*
DAN *NON-TAPERED***



**DEVIN CHAY
NPM : 6101901153**

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)**

**BANDUNG
JANUARI 2023**

THESIS

**PRINCIPAL STRESS ANALYSIS ON WEB BOX GIRDER
OF BALANCED CANTILEVER CONSTRUCTION
PRESTRESS BRIDGE WITH TAPERED AND NON
TAPERED CONDITIONS.**



**DEVIN CHAY
NPM : 6101901153**

ADVISOR : Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

CO-ADVISOR: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**PARAHYANGAN CATHOLIC
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM**

(Accredited by SK BAN-PT Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JANUARY 2023**

SKRIPSI

**ANALISIS TEGANGAN UTAMA PADA *WEB BOX*
GIRDER JEMBATAN PRATEGANG KONSTRUKSI
BALANCED CANTILEVER DENGAN KONDISI *TAPERED*
DAN *NON-TAPERED***



**DEVIN CHAY
NPM : 6101901153**

BANDUNG, 16 JANUARI 2022

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T. Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANATEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)**

**BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

ANALISIS TEGANGAN UTAMA PADA *WEB BOX GIRDER* JEMBATAN PRATEGANG KONSTRUKSI *BALANCED CANTILEVER* DENGAN KONDISI *TAPERED* DAN *NON-TAPERED*



NAMA: DEVIN CHAY
NPM: 6101901153

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho S.T., M.T.

PENGUJI 1: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANATEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG
JANUARI 2023

PERNYATAAN

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

Nama : Devin Chay

NPM : 6101901153

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi^{*)} dengan judul:

**ANALISIS TEGANGAN UTAMA PADA WEB BOX GIRDER STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG
KONSTRUKSI *BALANCED CANTILEVER* DENGAN KONDISI *TAPERED* DAN *NON-TAPERED***

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 4 Januari 2023



^{*)} coret yang tidak perlu

**ANALISIS TEGANGAN UTAMA PADA *WEB BOX GIRDER*
STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG KONSTRUKSI
BALANCED CANTILEVER DENGAN KONDISI *TAPERED*
DAN *NON-TAPERED***

**Devin Chay
NPM: 6101901153**

**Pembimbing: Lidya Fransisca Tjong, Ir, M.T.
Ko-Pembimbing: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)**

**BANDUNG
JANUARI 2023**

ABSTRAK

Penggunaan jenis struktur jembatan secara umum terbagi dua yaitu *tapered* dan *non-tapered*. Struktur harus didesain secara konservatif dan ekonomis terhadap gaya dalam dan tegangan. Namun seringkali tegangan utama pada *web box girder* pada struktur jembatan prategang tidak memenuhi *allowable principal tensile stress* walaupun seluruh syarat desain lainnya telah terpenuhi. Oleh karena itu, skripsi ini mempelajari tegangan utama pada *web box girder* struktur jembatan prategang dengan kondisi *tapered* dan *non-tapered* dengan metode *balanced cantilever*. Terdapat tiga jenis model yang akan dibahas pada skripsi ini yaitu *tapered*, *non-tapered*, dan *tapered* dengan *tendon non-tapered*. Hasil dari perbandingan ketiga model diperoleh bahwa pada model *tapered* daerah kritis untuk tegangan utama pada *web box girder* berada pada lapangan, sedangkan pada model *non-tapered* daerah kritis berada pada *pier*. Kemudian, dari studi parametrik yang dilakukan didapatkan kesimpulan yaitu penebalan *web* dapat mereduksi tegangan utama pada *web box girder*. Dari studi yang dilakukan didapatkan kesimpulan yaitu rekomendasi AASTHO mengenai *minimum web thickness* tidak efektif karena rentang *trial&error* terlalu besar. Namun metode *dead load shear stress* untuk menentukan *shear stress* terbukti efektif. Selain itu, ketika *web thickness* kurang dari batas minimum maka *shear stress* akan membesar dan ketika lebih dari batas maksimum maka *normal tensile stress* akan membesar.

Kata Kunci: *allowable principal tensile stress, balanced cantilever, box girder, jembatan, non-tapered, tapered, tegangan utama*

PRINCIPAL STRESS ANALYSIS ON WEB BOX GIRDER OF BALANCED CANTILEVER PRESTRESS BRIDGE WITH TAPERED AND NON TAPERED CONDITION

**Devin Chay
NPM: 6101901153**

**Advisor : Lidya Fransisca Tjong, Ir, M.T.
Co-Advisor : Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM**

(Accredited by SK BAN-PT Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JANUARY 2023**

ABSTRACT

The use of this type of bridge structure is generally divided into two, namely tapered and non-tapered. The structure must be designed conservatively and economically against internal forces and stresses. However, often the main stress on the web box girder on the prestressed bridge structure does not meet the allowable principal tensile stress even though all other design requirements have been met. Therefore, this thesis studies the main stresses in the web box girder of a tapered and non-tapered prestressed bridge structure using the balanced cantilever method. There are three types of models that will be discussed in this thesis, namely tapered, non-tapered, and tapered with non-tapered tendons. The results of the comparison of the three models show that in the tapered model the critical area for the main stress on the web box girder is in the field, while in the non-tapered model the critical area is in the pier. Then, from the parametric studies conducted, it was concluded that web thickening can reduce the main stress on the box girder web. From the studies conducted, it was concluded that AASTHO's recommendation regarding minimum web thickness was not effective because the trial & error range was too large. However, the dead load shear stress method to determine shear stress proved to be effective. In addition, when the web thickness is less than the minimum limit, the shear stress will increase and when it is more than the maximum limit, the normal tensile stress will increase.

Keywords : *allowable principal tensile stress, balanced cantilever, box girder, bridge, non-tapered, principal stress, tapered*

PRAKATA

Namo Buddhaya,

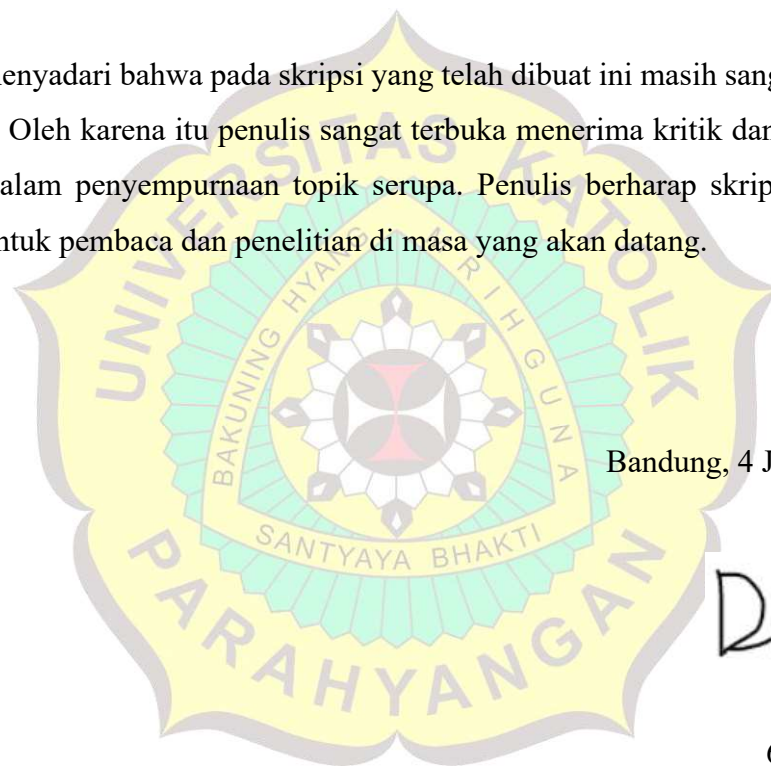
Terpujilah Sanghyang Adi Buddha Tuhan Yang Maha Esa, Sang Tri Ratna, dan Bodhisatva Mahasatva karena berkat cinta kasih yang tanpa batasan dan dukungan karma baik akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISIS TEGANGAN UTAMA PADA *WEB BOX GIRDER* STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG KONSTRUKSI *BALANCED CANTILEVER* DENGAN KONDISI *TAPERED* DAN *NON-TAPERED*” dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademik sekaligus proses belajar yang perlu dilalui untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Dukungan tersebut membuat penulis menjadi termotivasi dan dapat melalui berbagai macam hambatan dan kesulitan dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, dengan rasa hormat pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak pengetahuan, meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran , serta membimbing penulis dari awal hingga akhir proses penyusunan skripsi ini agar dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu;
2. Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T., selaku dosen ko-pembimbing yang telah membimbing disetiap waktu, memberikan saran yang membangun, bertukar pikiran, arahan, dukungan, serta motivasi kepada penulis dari awal hingga akhir proses penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro, Bapak Liyanto Eddy, Ph.D., Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D., selaku dosen penguji pada saat Seminar Judul dan Seminar Isi yang telah memberikan banyak masukan dan kritik yang membangun bagi penulis;

4. Orangtua dan Keluarga penulis yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi setiap saat;
5. Teman-teman dekat yang selalu mendukung, membantu dan menyemangati penulis dalam proses sosial dan akademik sejak semester awal.
6. Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2019 yang telah menjadi lingkungan perkuliahan selama penulis menempuh masa studi
7. Semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan menyemangati penulis selama pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa pada skripsi yang telah dibuat ini masih sangat jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat terbuka menerima kritik dan saran yang berguna dalam penyempurnaan topik serupa. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna untuk pembaca dan penelitian di masa yang akan datang.



Bandung, 4 Januari 2023

Devin Chay
6101901153

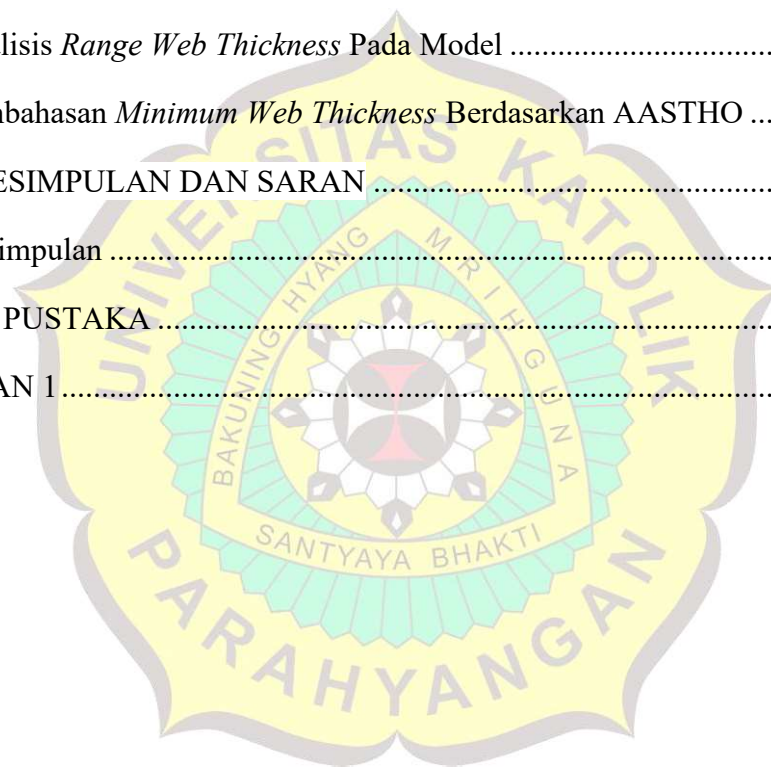
DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-3
1.5 Metode Penelitian.....	1-6
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-7
BAB 2 STUDI PUSTAKA.....	2-1
2.1 Jembatan	2-1
2.1.1 Jembatan Berdasarkan Tipe Bentang Struktur	2-1
2.1.2 Jembatan Berdasarkan Hubungan Antara <i>Pier</i> dan Struktur Atas	2-2
2.1.3 Jembatan Berdasarkan Kondisi Struktur <i>Tapered</i> dan <i>Non-Tapered</i> ..	2-3
2.2 Profil Jembatan <i>Box Girder</i>	2-6
2.3 Tegangan	2-10
2.3.1 Tegangan Utama.....	2-10
2.3.2 Batas Maksimum Tegangan Utama.....	2-13

2.4 Desain Jembatan.....	2-14
2.4.1 Tegangan Normal Pada Penampang	2-14
2.4.2 Momen Lentur.....	2-16
2.4.3 Gaya Geser	2-17
2.4.4 Torsi	2-22
2.4.5 Reinforcement Limit	2-23
2.4.6 Lendutan.....	2-24
2.5 Metode Konstruksi Balanced Cantilever	2-24
2.6 Pembebanan	2-27
2.6.1 Beban Sendiri (MS).....	2-28
2.6.2 Beban Mati Tambahan (MA).....	2-29
2.6.3 Beban Pengaruh Tetap Pelaksanaan (PL)	2-29
2.6.4 Beban Lalu Lintas	2-29
2.6.4.1 Beban Lajur “D” (TD)	2-30
2.6.4.2 Beban Truk “T” (TT).....	2-31
2.6.4.3 Faktor Beban Dinamis (FBD).....	2-32
2.6.5 Gaya Rem (TB).....	2-33
2.6.6 Gaya Akibat Temperatur Merata (EU_n).....	2-33
2.6.7 Gaya Akibat Temperatur Gradien (ET)	2-34
2.6.8 Beban Angin Pada Struktur (EW_s).....	2-35
2.6.9 Beban Angin Pada Kendaraan (EW_l).....	2-36
2.6.10 Kombinasi Pembebanan.....	2-36
2.7 Menentukan <i>Web Thickness</i> Berdasarkan AASTHO LRFD <i>Bridge Design Specification 8th Edition</i>	2-37
BAB 3 STUDI KASUS.....	3-1
3.1 Jumlah Halaman dan Penggandaan.....	3-1

3.1.1 Data Struktur	3-1
3.1.2 Data Material	3-2
3.2 Data Pembebanan	3-3
3.2.1 Beban Mati (MS).....	3-3
3.2.2 Beban Mati Tambahan (MA)	3-4
3.2.3 Beban Hidup Lajur “D” (TD).....	3-5
3.2.4 Beban Hidup Truk “T” (TT).....	3-6
3.2.5 Beban Rem (TB).....	3-8
3.2.6 Beban Angin Struktur (EWs)	3-8
3.2.7 Beban Angin Pada Kendaraan (EWI).....	3-9
3.2.8 Beban Temperatur Gradien (ET).....	3-10
3.2.9 Beban Temperatur Merata (EUn).....	3-11
3.2.10 Beban Gempa (EQ).....	3-13
3.3 Metode Konstruksi	3-13
3.3.1 Data Form Traveler	3-14
3.3.2 CS (Construction Stage).....	3-14
3.4 Kombinasi Pembebanan	3-18
3.5 Profil Box Girder.....	3-19
3.6 Tendon Layout.....	3-20
3.7 Desain Model <i>Tapered</i> dan <i>non-tapered</i>	3-22
3.7.1 Desain Momen.....	3-22
3.7.2 Desain Geser.....	3-24
3.7.3 Desain Torsi.....	3-26
3.7.4 Tendon and Mild Reinforcing	3-27
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	4-1

4.1 Pembahasan SNI 1725:2016 dan AASTHO LRFD Bridge Design Specification 8 th Edition.....	4-1
4.2 Analisis Kapasitas Momen Penampang.....	4-3
4.3 Analisis Tegangan Normal.....	4-5
4.3.1 Analisis Tegangan Normal Saat CS (<i>Construction Stage</i>)	4-5
4.3.2 Analisis Tegangan Normal Pada Saat Post CS	4-10
4.4 Analisis Tegangan Utama Tarik Pada Web Box Girder (Web Tensile Principal Stress)	4-19
4.5 Analisis <i>Range Web Thickness</i> Pada Model	4-22
4.6 Pembahasan <i>Minimum Web Thickness</i> Berdasarkan AASTHO	4-25
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan	5-1
DAFTAR PUSTAKA	xxii
LAMPIRAN 1	1-1



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	: Luas Daerah Aliran Sungai (km ²)
L _c	: Panjang cantilever wing (ft)
t _{tip}	: Tebal cantilever wing tip (in)
t _c	: Tebal cantilever wing root (in)
τ _{DL}	: Torsi akibat dead load (kip/ft ²)
Q ₀	: First moment of the area above or below the neutral axis (ft ³)
I	: Momen of inertia (ft ⁴)
b _{total}	: Total web thickness (ft)
P _{DL}	: Dead load of superstructure (kips/ft)
L _{max}	: Maximum span length in bridge (ft)
h	: Depth of box girder superstructure (ft)
σ _x	: Tegangan yang bekerja pada arah bidang x (MPa)
σ _y	: Tegangan yang bekerja pada arah bidang y (MPa)
τ _{xy}	: Tegangan geser yang bekerja pada arah bidang x dan y (MPa)
τ _{yx}	: Tegangan geser yang bekerja pada arah bidang y dan x (MPa)
σ ₁	: Tegangan normal maksimum (MPa)
σ ₂	: Tegangan normal minimum (MPa)
θ	: Sudut kemiringan tegangan terhadap sumbu utama (Derajat)
τ	: Tegangan geser (MPa)
τ _T	: Tegangan torsi (MPa)
I	: Momen inersia penampang (mm ⁴)
Q	: First moment of area (mm ³)
b _v	: Effective web width (mm)
V _u	: Gaya geser ultimit akibat kombinasi pembebanan layan 3 (kN)
T _u	: Gaya torsi ultimit akibat kombinasi pembebanan layan 3 (kN)
A _o	: Area enclosed by the shear flow path around the box girder (mm ²)
f _y	: Tegangan leleh material (MPa)
S.F	: Faktor keamanan
σ _{allow}	: Allowable tensile capacity of concrete (ksi)
f _{c'}	: Kuat tekan beton (ksi)

- f_c' : Kuat tekan beton 28 hari (ksi)
 f_{ci}' : Kuat tekan beton awal (ksi)
 $\sigma_{t.allow.1}$: Allowable tensile stress for temporary stress at the time of tendon stressing (ksi)
 $\sigma_{t.allow.2}$: Allowable tensile stress due to stresses after all time dependent effects and losses. (ksi)
 M_n : Momen nominal penampang (kips.in)
 A_{ps} : Luas tulangan prategang (in^2)
 f_{ps} : Tegangan leleh tulangan prategang (ksi)
 d_p : Tinggi efektif tendon (in)
 a : Tinggi blok tekan beton ekuivalen (in)
 b : Lebar penampang (in)
 b_w : Lebar web (in)
 h_f : Tebal flange (in)
 M_{cr} : Momen retak pada penampang (ft-kips)
 γ_1 : Flexural cracking variability factor (1.6)
 γ_2 : Prestress variability factor (1.1)
 γ_3 : Ratio of yield strength to ultimate strength (1.0)
 S : Cross section modulus corresponding to the extreme fiber for which the cracking moment is being computed (in^3)
 f_{cpe} : Compressive stress in concrete due to effective prestressing forces only(after all losses) at extreme fiber of section where tensile stress is caused by external applied loads (ksi)
 f_r : Modulus of rupture (psi)
 M_r : Momen tahan penampang (ft-kips)
 b_v : Effective web width (in)
 d_v : Effective shear depth (in)
 f_c' : Kuat tekan beton (ksi)
 V_c : Gaya geser tahan yang diberikan beton (ksi)
 h : Tinggi penampang (in)
 M_{cre} : Cracking moment (kip-in)

- S_{nc} : Cross section modulus corresponding to the extreme fiber for which the cracking moment is being computed (in^3)
- M_{dnc} : Unfactored dead load moment (kip-in)
- M_{max} : Maximum factored moment less the unfactored dead load moment (kip-in)
- V_i : Maximum factored shear less the unfactored dead load moment (kip)
- A_v : Luas tulangan transversal (in^2)
- s : Spasi tulangan (in)
- α : Angle of inclination of diagonal compressive stresses (degree)
- V_s : Gaya geser tahan yang diberikan tulangan non-prategang (ksi)
- ϕ_s : Faktor koreksi geser (0.90)
- f_{pc} : Compressive stress at the centroid of the section (ksi)
- A_{ps} : Luas tulangan prategang transversal (in^2)
- f_{ps} : Tegangan leleh tulangan prategang (ksi)
- y : Elevasi profil tendon pada suatu jarak horizontal (in)
- ω : The angle of the tendon at the cross section relative to horizontal (degree)
- V_p : Gaya geser tahan yang diberikan tulangan prategang (ksi)
- T_r : Torsi tahan (kips.in)
- A_o : Area enclosed by the shear flow path around the box girder (in^2)
- A_t : Total area of transverse torsion reinforcing in the exterior web of the box girder (in^2)
- A_{cp} : Luas penampang (in^2)
- P_c : Keliling penampang (in)
- f_{pc} : Average compressive stress in concrete after prestress losses (ksi)
- TT : Beban truk
- TB : Beban rem
- BGT : Beban garis terpusat
- BTR : Beban terbagi rata
- TD : Beban lajur
- FBD : Faktor beban dinamis
- EW_s : Beban angin struktur
- EW_1 : Beban angin kendaraan

- EU_n : Beban temperature merata
MA : Beban mati tambahan
MS : Beban sendiri
EQ : Beban gempa
ET : Beban temperature gradien



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tampak Isometri Struktur Jembatan Kondisi <i>Tapered</i>	1-4
Gambar 1.2 Tampak Isometri Struktur Jembatan Kondisi <i>non-Tapered</i>	1-4
Gambar 1.3 Dimensi <i>Box Girder</i> Kondisi <i>Tapered</i> dengan batas desain	1-5
Gambar 1.4 Dimensi <i>Box Girder</i> Kondisi <i>non-Tapered</i> dengan batas desain....	1-5
Gambar 2.1 Tipe Struktur Jembatan <i>Simple Span</i>	2-2
Gambar 2.2 Tipe Struktur Jembatan <i>Continuous Span</i>	2-2
Gambar 2.3 Tipe Struktur Jembatan <i>Integral</i> dan <i>Conventional</i>	2-3
Gambar 2.4 Tipe Struktur Jembatan <i>Tapered</i>	2-4
Gambar 2.5 Tipe Struktur Jembatan <i>non-Tapered</i>	2-4
Gambar 2.6 Distribusi Tegangan Geser Pada <i>Girder</i> Kondisi <i>Non-Tapered</i>	2-5
Gambar 2.7 Distribusi Tegangan Geser Pada <i>Girder</i> Kondisi <i>Tapered</i>	2-6
Gambar 2.8 Single-Cell Box Girder Cross Section	2-7
Gambar 2.9 Multi-Cell Box Girder Cross Section.....	2-7
Gambar 2.10 Cantilever Wing	2-8
Gambar 2.11 Komponen Tegangan Normal dan Geser.....	2-11
Gambar 2.12 Komponen Tegangan Utama	2-11
Gambar 2.13 Komponen Tegangan Pada Penampang Beton Prategang	2-14
Gambar 2.14 MCFT Forces and Longitudinal Strain	2-18
Gambar 2.15 Contribution of Shear Reinforcing to Nominal Shear Resistance ..	2-19
Gambar 2.16 Typical Tendon Profile for an Interior Span of a Continuous Unit	2-20
(<i>sumber : https://post-tension-bridge-manual-FHWA</i>)	2-20
Gambar 2.17 Tendon Profile Parabolic Segment	2-21
Gambar 2.18 Torsion in a Single-Cell Box Girder	2-22

Gambar 2.19 Methods of Bridges Construction and Bridge Span	2-25
Gambar 2.20 Bridge Production Rates and Erection Methods.....	2-25
Gambar 2.21 Tahapan Konstruksi Metode <i>Balanced Cantilever</i>	2-27
Gambar 2.22 Tabel Berat Isi untuk Beban Mati.....	2-28
Gambar 2.23 Tabel Faktor Beban untuk Berat Sendiri	2-28
Gambar 2.24 Tabel Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahn	2-29
Gambar 2.25 Tabel Faktor Beban untuk Beban Pengaruh Pelaksanaan	2-29
Gambar 2.26 Tabel Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”	2-30
Gambar 2.27 Beban Lajur “D”	2-31
Gambar 2.28 Tabel Faktor Beban untuk Beban Truk “T”	2-31
Gambar 2.29 Pembebanan Truk “T” (500 kN)	2-32
Gambar 2.30 Faktor Beban Dinamis untuk Beban Truk”T” dan Lajur “D”	2-32
Gambar 2.31 Tabel Temperatur Jembatan Rata-rata Nominal.....	2-33
Gambar 2.32 Tabel Sifat Bahan Rata-rata Akibat Pengaruh Temperatur	2-34
Gambar 2.33 Tabel Parameter T_1 dan T_2	2-34
Gambar 2.34 Gradien Temperatur Vertikal Pada Bangunan Atas Beton dan Baja	2-35
Gambar 2.35 Tabel Tekanan Angin Dasar	2-35
Gambar 2.36 Tabel Komponen Beban Angin yang Bekerja Pada Kendaraan. 2-36	2-36
Gambar 2.37 Kombinasi Pembebanan dan Faktor Beban Struktur Jembatan..	2-37
Gambar 3.1 Beban Mati (MS)	3-4
Gambar 3.2 Beban Mati Tambahan (MA).....	3-4
Gambar 3.3 Beban Garis Terpusat (BGT).....	3-5
Gambar 3.4 Beban Terbagi Rata (BTR).....	3-5
Gambar 3.5 Lajur Rencana Beban Truk.....	3-6
Gambar 3.6 Kondisi 4 Lajur Terisi.....	3-7

Gambar 3.7 Kondisi 2 Lajur Terisi	3-7
Gambar 3.8 Kondisi 1 Lajur Terisi	3-7
Gambar 3.9 Beban Rem (TB)	3-8
Gambar 3.10 Beban Angin Pada Struktur (EWs)	3-9
Gambar 3.11 Beban Angin Pada Kendaraan (EWI)	3-10
Gambar 3.12 Input Beban Temperatur Gradien.....	3-11
Gambar 3.13 Beban Temperatur Gradien (ET)	3-11
Gambar 3.14 Beban Temperatur Merata (EUn) Kondisi Muai	3-12
Gambar 3.15 Beban Temperatur Merata (EUn) Kondisi Susut.....	3-12
Gambar 3.16 Respon Spektra Kota Bandung/Tanak Lunak.....	3-13
Gambar 3.17 <i>Form Traveler</i> (FT-S Over Head).....	3-14
Gambar 3.18 <i>Construction Stage 1</i>	3-15
Gambar 3.19 Construction Stage 13.....	3-16
Gambar 3.20 Construction Stage 14.....	3-16
Gambar 3.21 Construction Stage 16.....	3-17
Gambar 3.22 Construction Stage 17.....	3-18
Gambar 3.23 Dimensi Tapered Box Girder dengan Web Thickness Final	3-19
Gambar 3.24 Dimensi non-Tapered Box Girder dengan Web Thickness Final ...	3-20
Gambar 3.25 Tendon Layout Model Tapered Tampak Samping	3-21
Gambar 3.26 Tendon Layout Model Tapered Tampak Atas	3-21
Gambar 3.27 Tendon Layout Model non-Tapered Tampak Samping.....	3-21
Gambar 3.28 Tendon Layout Model non-Tapered Tampak Atas.....	3-22
Gambar 3.29 Diagram Gaya Dalam Momen Kombinasi Kuat 1 Model <i>Tapered</i>	3-23
Gambar 3.30 Diagram Gaya Dalam Momen Kombinasi Kuat 1 Model <i>non-Tapered</i>	3-24

Gambar 3.31 Diagram Gaya Dalam Geser Kombinasi Kuat 1 Model <i>Tapered</i> ...	3-25
Gambar 3.32 Diagram Gaya Dalam Geser Kombinasi Kuat 1 Model <i>non-Tapered</i>	3-25
Gambar 3.33 Diagram Gaya Dalam Torsi Kombinasi Kuat 1 Model <i>Tapered</i>	3-26
Gambar 3.34 Diagram Gaya Dalam Torsi Kombinasi Kuat 1 Model <i>non-Tapered</i>	3-27
Gambar 3.35 Layout Tendon dan Mild Reinforcing Model <i>Tapered</i> Daerah Lapangan.....	3-28
Gambar 3.36 Layout Tendon dan Mild Reinforcing Model <i>Tapered</i> Daerah Pier	3-28
Gambar 3.37 Layout Tendon dan Mild Reinforcing Model <i>non-Tapered</i> Daerah Lapangan.....	3-29
Gambar 3.38 Layout Tendon dan Mild Reinforcing Model <i>non-Tapered</i> Daerah Pier	3-29
Gambar 3.39 Layout Tendon dan Mild Reinforcing Model <i>Tapered</i> dengan Tendon <i>non-Tapered</i> Daerah Pier.....	3-30
Gambar 3.40 Layout Tendon dan Mild Reinforcing Model <i>Tapered</i> dengan Tendon <i>non-Tapered</i> Daerah Lapangan.....	3-30
Gambar 4.1 Gambar Lajur Rencana Pada Masing-masing Bentang.....	4-2
Gambar 4.2 <i>Influence Line</i>	4-2
Gambar 4.3 Perbandingan Kombinasi Pembebanan AASTHO LRFD <i>Bridge Design Specification</i> dan SNI 1725 : 2016	4-2
Gambar 4.4 Gaya Geser Akibat <i>Selfweight</i> Pada Model <i>Tapered</i>	4-9
Gambar 4.5 Gaya Geser Akibat <i>Selfweight</i> Pada Model <i>non-Tapered</i>	4-9
Gambar 4.6 Gaya Geser Akibat <i>Selfweight</i> Pada Model <i>Tapered</i> dengan Tendon <i>non-Tapered</i>	4-10

Gambar 4.7 Diagram Tegangan Normal Serat Atas Sepanjang Bentang Struktur <i>Tapered</i> Pada Masa Post CS.....	4-11
Gambar 4.8 Diagram Tegangan Normal Serat Bawah Sepanjang Bentang Struktur <i>Tapered</i> Pada Masa Post CS.....	4-11
Gambar 4.9 Diagram Tegangan Normal Serat Atas Sepanjang Bentang Struktur <i>Tapered</i> Pada Masa Post CS.....	4-12
Gambar 4.10 Diagram Tegangan Normal Serat Bawah Sepanjang Bentang Struktur <i>Tapered</i> Pada Masa Post CS.....	4-12
Gambar 4.11 Diagram Tegangan Normal Serat Atas Sepanjang Bentang Struktur <i>non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-13
Gambar 4.12 Diagram Tegangan Normal Serat Bawah Sepanjang Bentang Struktur <i>non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-13
Gambar 4.13 Diagram Tegangan Normal Serat Atas Sepanjang Bentang Struktur <i>non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-14
Gambar 4.14 Diagram Tegangan Normal Serat Bawah Sepanjang Bentang Struktur <i>non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-14
Gambar 4.15 Diagram Tegangan Normal Serat Atas Sepanjang Bentang Struktur <i>Tapered</i> dengan <i>Tendon non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-15
Gambar 4.16 Diagram Tegangan Normal Serat Bawah Sepanjang Bentang Struktur <i>Tapered</i> dengan <i>Tendon non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-15
Gambar 4.17 Diagram Tegangan Normal Serat Atas Sepanjang Bentang Struktur <i>Tapered</i> dengan <i>Tendon non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-16
Gambar 4.18 Diagram Tegangan Normal Serat Bawah Sepanjang Bentang Struktur <i>Tapered</i> dengan <i>Tendon non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-16

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Momen <i>d/c ratio</i> untuk Model Tapered Pada Daerah Pier dan Lapangan	4-3
Tabel 4.2 Momen <i>d/c ratio</i> untuk Model <i>non-Tapered</i> Pada Daerah Pier dan Lapangan	4-3
Tabel 4.3 Momen <i>d/c ratio</i> untuk Model Tapered dengan konfigurasi tendon <i>non-tapered</i> Pada Daerah Pier dan Lapangan	4-4
Tabel 4.4 Tegangan dan Batasan Tegangan Normal Model Tapered Pada Masa CS	4-6
Tabel 4.5 Tegangan dan Batasan Tegangan Normal Model <i>non-Tapered</i> Pada Masa CS	4-7
Tabel 4.6 Tegangan dan Batasan Tegangan Normal Model Tapered dengan Tendon Tapered Pada Masa CS	4-8
Tabel 4.7 Tegangan Normal Maksimum Model Tapered Pada Masa Post CS.	4-16
Tabel 4.8 Tegangan Normal Maksimum Model <i>non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-17
Tabel 4.9 Tegangan Normal Maksimum Model Tapered dengan Tendon <i>non-Tapered</i> Pada Masa Post CS	4-17
Tabel 4.10 Web Tensile Principal Stres Model Tapered	4-20
Tabel 4.11 Web Tensile Principal Stres Model <i>non-Tapered</i>	4-20
Tabel 4.12 Web Tensile Principal Stress Model Tapered dengan Tendon <i>non-Tapered</i>	4-20
Tabel 4.13 Web Tensile Principal Stress Model <i>non-Tapered</i> dengan Penebalan Web	4-21
Tabel 4.14 Range Web Thickness Pada Model <i>non-Tapered</i> Final	4-23
Tabel 4.15 Range Web Thickness Pada Model Tapered	4-23

Tabel 4.16 *Range Web Thickness Pada Model Tapered dengan Tendon non-Tapered*.....4-24



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1..... 1-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur penting yang digunakan untuk menghubungkan suatu tempat ke tempat lain yang dipisahkan oleh suatu rintangan seperti sungai, waduk, tebing, saluran irigasi, jalan kereta api, jalan raya, dan lain-lain. Karena rintangan yang akan dilalui oleh jembatan memiliki kesulitan yang berbeda-beda jembatan harus didesain sesuai dengan spesifikasi yang sesuai dengan tingkat kesulitan dari rintangan yang akan dilalui. Perencanaan spesifikasi jembatan meliputi; jenis dan dimensi box girder, jenis dan peruntukan jembatan, dan metode konstruksi jembatan

Analisis akan dilakukan pada struktur jembatan sewaktu masa konstruksi dan masa setelah konstruksi yang dilakukan terhadap gaya dalam, tegangan, lendutan, dan deformasi yang terjadi ketika terjadi gempa (*mode shape*). Analisis longitudinal struktur akan dilakukan dengan kondisi *tapered* dan *non-tapered*. Pada kondisi *non-tapered*, dimensi profil *box girder* identik sepanjang bentang, sehingga *self weight* dari struktur lebih besar dari kondisi *tapered*, maka *plane stress* dan *principal stress* cenderung lebih besar dari kondisi *tapered*. Sedangkan pada kondisi *tapered*, *web depth* dan *bottom flange thickness* pada *box girder* di tumpuan dan lapangan akan berbeda, ketidakkonsistenan *web depth* pada bentang struktur jembatan akan menyebabkan timbulnya *resal effect*. Dengan timbulnya *resal effect* semakin mendekati *pier* (zona perbesaran momen negatif) *shear stress* yang dipikul *web* akan tereduksi karena sebagian *shear stress* akan dipikul oleh *bottom flange*. Akibatnya, *web thickness* dapat didesain lebih tipis untuk kondisi *tapered* karena reduksi *shear stress* pada *web* dan *self weight* yang lebih kecil dari kondisi *non-tapered* yang mengakibatkan reduksi *plane stress* dan *principal stress* pada *web*. Kondisi *tapered* maupun *non-tapered* memiliki nilai momen maksimum negatif dan gaya geser maksimum di *pier*, namun hanya pada kondisi *non-tapered* saja titik kritis tegangan geser *web* berada di *pier*, sedangkan pada kondisi *tapered* titik

kritisnya bukan di *pier*, melainkan di suatu titik di antara daerah tumpuan sampai lapangan.

Walaupun *web thickness* dapat didesain lebih tipis, jembatan harus didesain sesuai *design code* karena pengaruh *web thickness* cukup signifikan terhadap tegangan-tegangan terutama *plane stress* dan *principal stress* melalui momen inersia. Berdasarkan AASHTO LRFD Article 5.14.1.5.1c, *web thickness* tidak boleh kurang dari 12 inch dan faktor yang mempengaruhi *web thickness* adalah gaya geser, torsi, dan geometri penampang *box girder*. Sehingga pada studi ini akan dilakukan tinjauan lebih dalam mengenai dimensi *web thickness* sesuai dengan AASHTO LRFD Article 5.14.1.5.1c., serta meninjau kembali kesesuaian persyaratan desain *web thickness* yang terdapat pada AASHTO LRFD Article 5.14.1.5.1c terhadap kondisi desain.

Pada kasus ini analisis akan dilakukan pada jembatan *box girder* konstruksi *balanced cantilever* sebagai tipe dominan. Metode ini memanfaatkan prinsip keseimbangan *cantilever* yang bertumpu pada *pier*, *pier* yang akan menopang segmen demi segmen yang disusun sebagai kantilever dikedua sisinya dengan bantuan *strand* yang kemudian distressing agar seimbang sehingga struktur dapat berdiri sendiri pada tahapan konstruksi tanpa bantuan sokongan *framework & shoring*. Metode ini sangat tepat digunakan pada lokasi yang memiliki rintangan dengan tingkat kesulitan yang tinggi seperti jurang, sungai dengan arus yang deras, rel kereta api, bahkan di atas jalan dengan kondisi lalu lintas yang sangat padat setiap harinya. Pada *balanced cantilever*, penggunaan *box girder* sangat tepat karena memiliki ketahanan terhadap torsi yang lebih tinggi dan berat sendiri yang lebih rendah dibandingkan jenis *girder* lain seperti *steel girder* atau *composite girder* karena pada *box girder*, terdapat rongga pada tengah penampang yang dapat mengurangi berat sendiri dan efek torsi pada penampang *box girder*. Selain itu, pada metode *balanced cantilever*, metode *stressing* dilakukan pada dua arah secara bersamaan, sehingga kehilangan prategang yang terjadi lebih kecil dibandingkan metode *stressing* satu arah yang dilakukan pada metode konstruksi lainnya.

1.2 Inti Permasalahan

Struktur jembatan dengan kondisi *tapered* memiliki dimensi *box girder* yang berbeda pada daerah tumpuan dan lapangan, sedangkan pada kondisi *non-tapered*, dimensi *box girder* identik sepanjang bentang. Namun beban yang dipikul oleh kedua kondisi memiliki nilai dan konfigurasi yang sama. Sehingga tegangan-tegangan yang bekerja pada *profil box girder* dan posisi kritis tegangan sepanjang bentang akan mengalami perbedaan pada kedua kondisi terutama pada *web*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

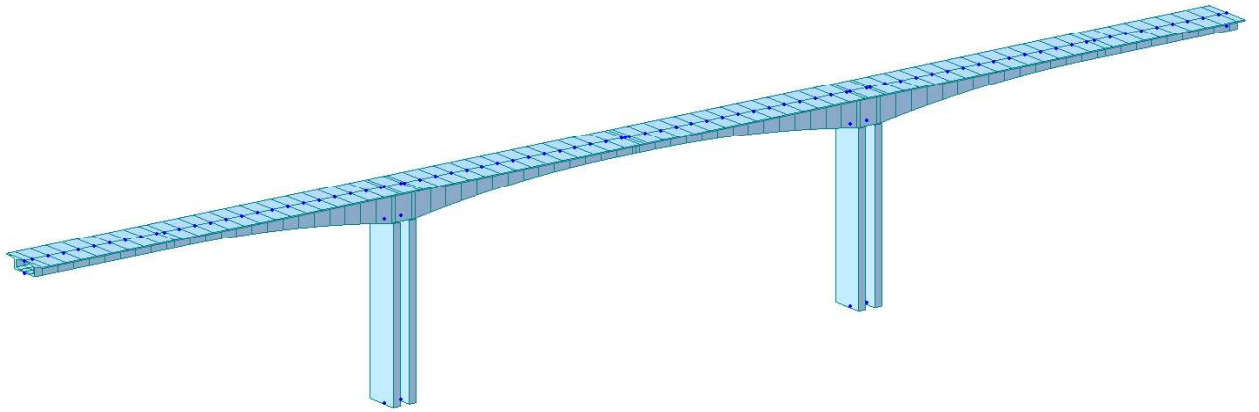
1. Melakukan desain longitudinal struktur jembatan menggunakan *box girder* dengan kondisi *tapered* dan *non-tapered*.
2. Menganalisis dan mengkomparasi tegangan utama yang terjadi pada *web box girder* dengan kondisi *tapered* dan *non-tapered*.
3. Melakukan tinjauan kembali mengenai syarat *web thickness* minimum berdasarkan ketentuan AASTHO LRFD *Bridge Design Specification*.

1.4 Pembatasan Masalah

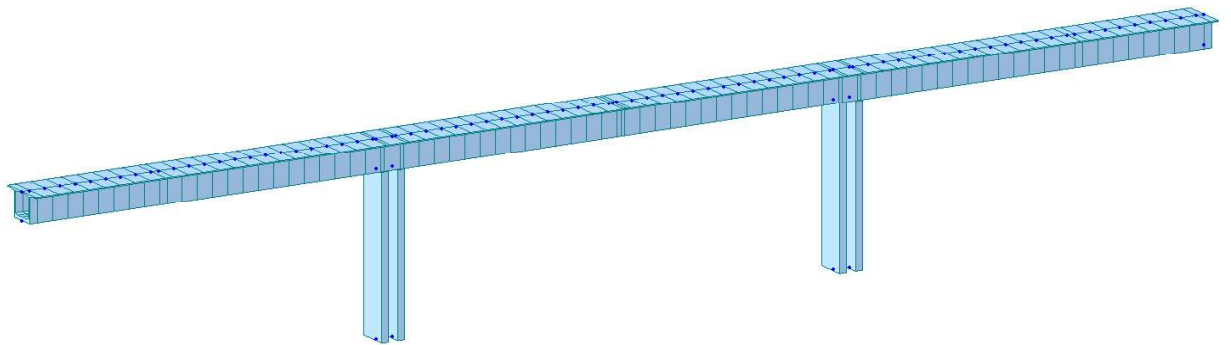
Berikut merupakan pembatasan masalah dari penelitian yang dilakukan :

1. Spesifikasi dimensi jembatan adalah sebagai berikut :

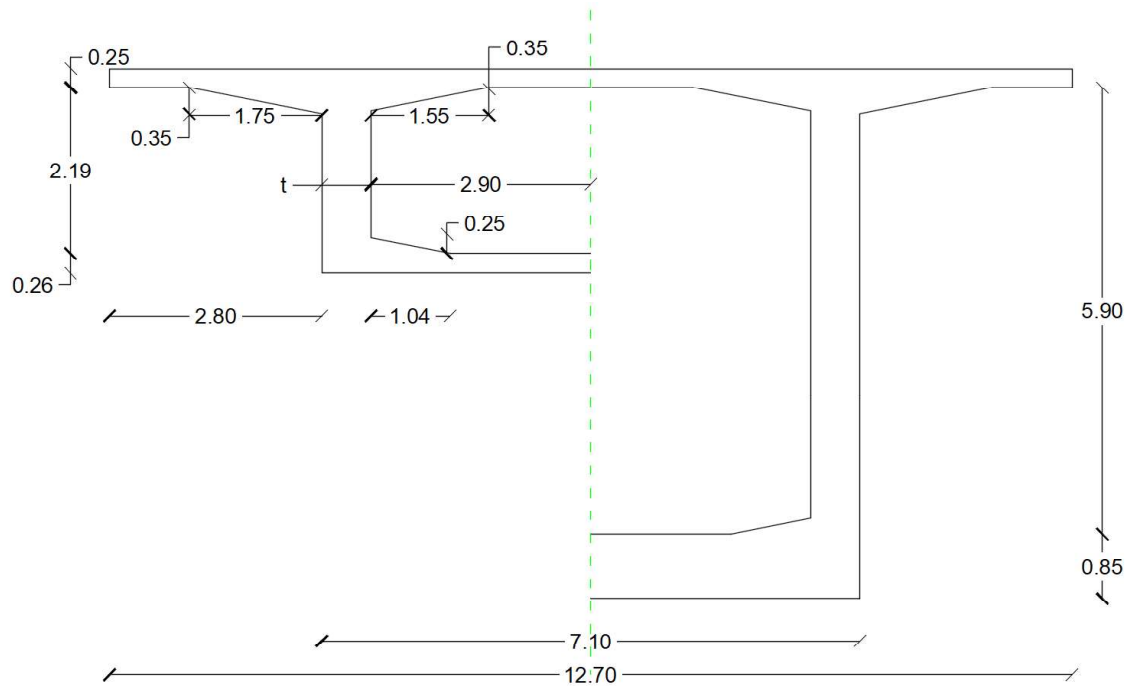
Lebar jembatan	: 12.7 m (2 lajur 2 arah)
Lokasi	: Bandung
Panjang total jembatan	: 310 m
Panjang bentang utama jembatan	: 120 m
Panjang bentang ujung jembatan	: 95 m
Jumlah bentang	: 3
Jumlah <i>pier</i>	: 2
Tinggi <i>pier</i>	: 40 m
Lebar <i>pier table</i>	: 14 m
Dimensi penampang <i>pier</i>	: 1.8 m x 8.1 m



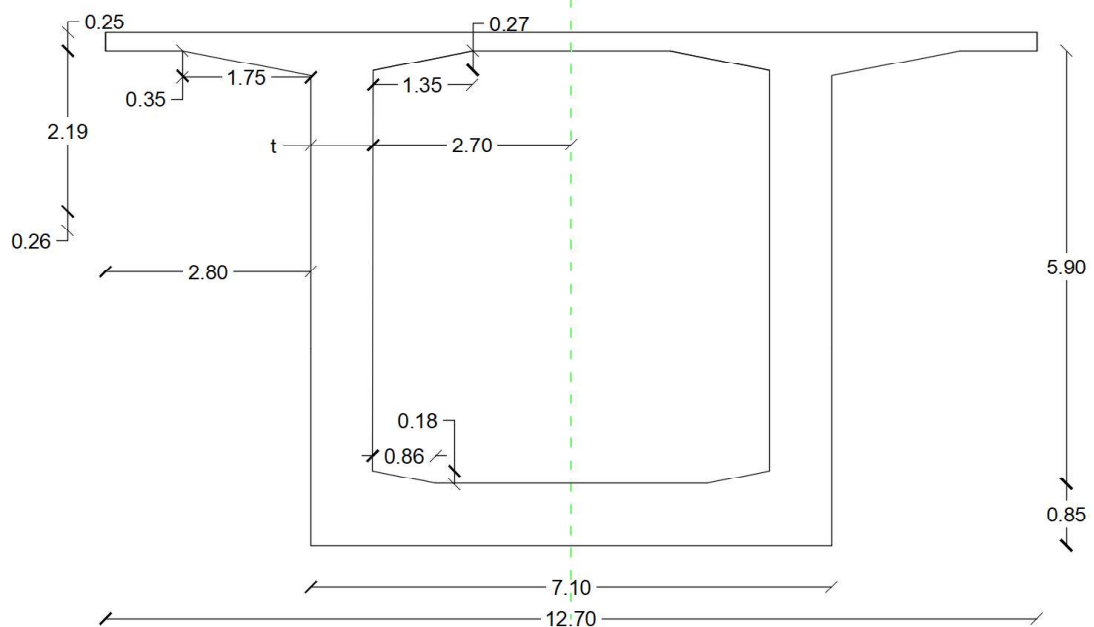
Gambar 1.1 Tampak Isometri Struktur Jembatan Kondisi *Tapered*



Gambar 1.2 Tampak Isometri Struktur Jembatan Kondisi *non-Tapered*



Gambar 1.3 Dimensi *Box Girder* Kondisi *Tapered* dengan batas desain



Gambar 1.4 Dimensi *Box Girder* Kondisi *non-Tapered* dengan batas desain

2. Bentang utama jembatan ditumpu oleh dua buah *pier* integral yang tidak memerlukan *bearing pad*, sehingga *pier* dan struktur atas jembatan dianggap monolit. Sedangkan pada bentang ujung jembatan, ditumpu oleh *abutment* yang memerlukan *bearing pad* dan tidak monolit.
3. Bentang jembatan didesain dengan kondisi *tapered* dan *non-tapered*.
4. Tidak dilakukan desain terhadap arah transversal struktur, pondasi, dan *abutment*.
5. Material masih berada pada kondisi elastis linier.
6. *Box girder* diasumsikan bukanlah elemen ber dinding tipis.
7. Analisis dilakukan pada *plane section*.
8. Mutu material beton yang digunakan untuk *box girder* adalah f_c 50 MPa ($E = 33324 \text{ MPa}$, $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) dan untuk *pier* adalah f_c 40 MPa ($E = 29725 \text{ MPa}$, $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$).
9. Mutu material baja tulangan Prategang adalah $f_{py} 1.569 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ ($E = 1.9631 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$, diameter 15.2 mm, Berat = 775 kg/km) dan untuk tulangan non prategang adalah $f_y 420 \text{ MPa}$ ($E = 200000 \text{ MPa}$).
10. Peraturan yang digunakan adalah sebagai berikut :
 - a. SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan
 - b. SNI 2833:2016 Perencanaan jembatan terhadap gempa
 - c. SNI T-12-2004 Perencanaan struktur beton untuk jembatan
 - d. AASTHO LRFD Bridge Design Specifications 8th Ed. 2017
 - e. AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Ed., 2014

1.5 Metode Penelitian

Berikut merupakan metode dari penelitian yang dilakukan :

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dari berbagai referensi mengenai Struktur Jembatan dan *Principal Stress* yang diperlukan dalam mendukung pengertian konsep dan analisis. Referensi diperoleh dari artikel, buku, jurnal, tesis, dan peraturan yang tercantum pada daftar Pustaka.

2. Studi Analisis

Studi analisis diterapkan pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* Midas Civil untuk permodelan struktur jembatan dengan kondisi *tapered* dan *non-tapered* dengan terlebih dahulu melakukan *preliminary design*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan karya tulis ilmiah ini disusun sebagai berikut :

BAB 1 – PENDAHULUAN

Bab ini berisi mengenai latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai dasar teori dan persamaan-persamaan mengenai tegangan, tegangan utama, momen/geser/torsi penampang *box girder*, pembebanan struktur jembatan, dan batasan minimum *web thickness* yang diberikan AASTHO.

BAB 3 – STUDI KASUS

Bab ini berisi mengenai metode dan tahapan *modeling* serta desain pada struktur jembatan dan penampang *web box girder*.

BAB 4 – ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai pembahasan AASTHO dan SNI mengenai pembebanan jembatan, analisis tegangan normal pada masa CS dan Post CS struktur jembatan, analisis momen nominal penampang *box girder*, analisis tegangan utama pada *web box girder*, analisis *range web thickness* desain, dan pembahasan *web thickness* yang direkomendasikan oleh AASTHO.

BAB 5 – KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan pada BAB 4 serta saran untuk penelitian serupa untuk penelitian dimasa mendatang.