

SKRIPSI

**PERENCANAAN JEMBATAN BERUJI KABEL
DENGAN *DOUBLE PLANE SYSTEM HARP CABLE***



**WILSON KUMALA
NPM : 6102001036**

PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**PERENCANAAN JEMBATAN BERUJI KABEL
DENGAN *DOUBLE PLANE SYSTEM HARP CABLE***



**WILSON KUMALA
NPM : 6102001036**

BANDUNG, 26 Juli 2024

PEMBIMBING:

Liyanto Eddy, Ph.D.

KO-PEMBIMBING:

Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**PERENCANAAN JEMBATAN BERUJI KABEL
DENGAN *DOUBLE PLANE SYSTEM HARP CABLE***



**WILSON KUMALA
NPM : 6102001036**

PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

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

PENGUJI 1: Dr. Paulus Karta Wijaya

PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : WILSON KUMALA
Tempat, tanggal lahir : Bandung, 08 Februari 2002
NPM : 6102001036
Judul skripsi : **PERENCANAAN JEMBATAN BERUJI
KABEL DENGAN *DOUBLE PLANE SYSTEM*
*HARP CABLE***

Dengan ini Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah benar hasil karya tulis saya sendiri dan bebas plagiat. Adapun kutipan yang tertuang sebagian atau seluruh bagian pada karya tulis ini yang merupakan karya orang lain (buku, makalah, karya tulis, materi perkuliahan, internet, dan sumber lain) telah selayaknya saya kutip, sadur, atau tafsir dan dengan jelas telah melampirkan sumbernya. Bahwa tindakan melanggar hak cipta dan yang disebut plagiat merupakan pelanggaran akademik yang sanksinya dapat berupa peniadaan pengakuan atas karya ilmiah ini dan kehilangan hak keserjanaan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

(Kutipan pasal 25 ayat 2 UU no. 20 tahun 2003)

Bandung, 26 Juli 2024



Wilson Kumala

PERENCANAAN JEMBATAN BERUJI KABEL DENGAN DOUBLE PLANE SYSTEM HARP CABLE

Wilson Kumala
NPM: 6102001036

Pembimbing: Liyanto Eddy, Ph.D.

Ko-Pembimbing: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024

ABSTRAK

Jembatan beruji kabel merupakan jembatan bentang panjang dimana seluruh beban dan gaya pada gelagar menerus dipikul oleh kabel yang menumpu pada menara (pylon). Pedoman dalam perencanaan struktur jembatan beruji kabel di Indonesia diatur dalam Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.08/SE/M/2015. Jembatan harus kuat dalam menahan kombinasi pembebanan statik dan dinamik yang diatur pada SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016 serta harus memenuhi deformasi izin sesuai AASHTO LFRD 2017. Jembatan beruji kabel dengan double plane system harp cable yang dimodelkan dalam MIDAS Civil mengalami modifikasi terhadap tinggi menara (pylon) dan dimensi gelagar. Hasil analisis membuktikan bahwa sudut kabel dan tinggi menara tidak berpengaruh signifikan terhadap deformasi deck sesuai Leonhardt (1987), melainkan berpengaruh kepada gaya tarik kabel dan jumlah kabel sesuai dengan perilaku model pylon dengan tinggi 35 meter serta 45 meter. Ketentuan Walther (1999) terkait tinggi gelagar box kurang tepat sehingga mengalami perbesaran ke 1/26 akibat deformasi pada gelagar yang belum memenuhi syarat. Penerapan tahapan konstruksi menghasilkan perbedaan nilai gaya dalam gelagar box yang dominan terhadap gaya aksial dan momen y akibat berat sendiri, beban bergerak kendaraan, temperature dan gaya prategang terbukti dengan terdapatnya rentang persen pertambahan atau pengurangan gaya dalam sekitar 1% hingga 60% yang vital bagi kestabilan jembatan.

Kata Kunci: Deformasi Izin, Gaya Dalam, Jembatan Beruji Kabel, MIDAS Civil, Tahapan Konstruksi,

DESIGN OF CABLE-STAYED BRIDGE WITH DOUBLE PLANE SYSTEM HARP CABLE

Wilson Kumala
NPM: 6102001036

Advisor: Liyanto Eddy, Ph.D.

Co-Advisor: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

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

(Accredited by SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)

BANDUNG

JULY 2024

ABSTRACT

Cable stayed bridges refer to long-span bridges where all loads and forces on the continuous girder are carried by cables connected to tower (pylon). Guidelines for planning cable-stayed bridge structures in Indonesia are regulated in Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.08/SE/M/2015. The bridge must be able to resist the combination of static and dynamic loading regulated in SNI 1725-2016 and SNI 2833-2016 and must fulfill the allowable deformation according to AASHTO LFRD 2017. The cable-stayed bridge with a double plane harp cable system modeled in MIDAS Civil was modified in terms of pylon height and girder dimensions. The analysis results proved that the cable angle and height of the tower did not significantly affect the deformation according to Leonhardt (1987), but it affected the cable tension force and the number of cables according to the behavior of the pylon model with a height of 35 meters and 45 meters. Walther's (1999) requirement regarding the height of the box girder needs further study. Based on the study the height of the girder is recommended to be 1/26 due to the deformations in the girder not being fulfilled. The application of construction stages produces differences in the value of internal forces in box girders that are dominant to axial forces and y moments due to self-weight, vehicle moving loads, temperature and prestressing forces as evidenced by the presence of a range of percent increase or reduction in internal forces of about 1% to 60% which is vital for bridge stability.

Keywords: Allowable Deformation, Internal Forces, Cable Stayed Bridge, MIDAS Civil, Construction Stage.

PRAKATA

Segala Puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan kemurahan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi dengan judul “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel dengan *Double Plane System Harp Cable*” dengan baik. Penulisan skripsi ini ditunjukkan sebagai salah satu kriteria persyaratan kelulusan sebagai mahasiswa sarjana Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari hasil kerja keras dan usaha penulis tetapi juga refleksi dari dukungan, bimbingan, dan dorongan dari banyak pihak yang luar biasa diantaranya:

1. Keluarga penulis yang terdiri dari Papa, Alm Mama dan Kakak yang tiada hentinya memberikan doa dan dukungan terhadap segala hal.
2. Bapak Liyanto Eddy, Ph.D. dan Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan ko-pembimbing yang selalu meluangkan waktu untuk penulis dalam proses penyusunan skripsi khususnya dalam memberikan pengetahuan, masukan berupa kritik & saran.
3. Bapak Dr. Paulus Karta Wijaya dan Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen penguji yang memberikan saran dan masukan untuk penulisan skripsi ini.
4. Seluruh dosen KBI Struktur yang memberikan wawasan berupa konsep dasar ilmu struktur dan berbagai masukan dalam proses belajar mengajar.
5. Fahreza Putra Nurfaizi dan Raden Mas Blasius Sosrodinaryo selaku teman satu bimbingan yang selalu memberikan bantuan, dukungan dan semangat dalam menyelesaikan seluruh kendala dalam skripsi ini.
6. Angghie, Ary, Fardin, Rinaldy, Luthfi, Ari, selaku teman terdekat penulis yang selalu memberikan dukungan, hiburan dan semangat dalam segala hal.
7. Teman-teman Teknik Sipil Unpar Angkatan 2020 yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan studi.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberikan bantuan dan dukungan baik dalam proses akademik dan non-akademik

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak sepenuhnya sempurna. Oleh sebab itu, penulis terbuka dalam menerima segala bentuk kritik dan saran yang dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu khususnya dalam bidang teknik sipil di masa kini maupun di masa yang akan datang.

Bandung, 26 Juli 2024



Wilson Kumala

6102001036



DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Pembatasan Masalah	6
1.5 Metode Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Jembatan Beruji Kabel	9
2.2 Komponen Struktur Jembatan Beruji Kabel	9
2.2.1 Kabel (Strand)	9
2.2.1.1 Konfigurasi Kabel Arah Memanjang (Longitudinal).....	12
2.2.1.2 Konfigurasi Kabel Arah Melintang (Tranversal).....	13
2.2.2 Menara / <i>Pylon</i>	14
2.2.3 Gelagar / <i>Girder</i> Jembatan	17
2.3 Pembebanan SNI.....	19

2.3.1 Umum	19
2.3.2 Berat Sendiri (MS)	20
2.3.3 Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA)	21
2.3.4 Lajur Lalu Lintas Rencana	22
2.3.5 Intensitas beban lajur kendaraan “D”	23
2.3.6 Beban Truk “T” (TT)	24
2.3.7 Faktor Beban Dinamis	25
2.3.8 Gaya Rem (TB)	25
2.3.9 Temperatur Merata (EUn)	26
2.3.10 Pengaruh Prategang	26
2.3.11 Beban Angin	27
2.3.11.2 Beban Angin Pada Struktur (EW_s)	28
2.3.11.3 Beban Angin Pada Kendaraan (EW_1)	28
2.3.12 Gempa	29
2.3.12.1 Faktor Modifikasi Respon	29
2.3.12.2 Kombinasi Gaya Gempa	30
2.4 Ketentuan Khusus Jembatan Beruji Kabel	30
2.5 Metode Pelaksanaan Konstruksi	31
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Struktur Utama	34
3.1.1 Panjang dan Lebar Jembatan	34
3.1.2 Pylon	34
3.1.3 Gelagar / Deck Jembatan	36
3.1.4 Ruji Kabel	39
3.1.4.1 Material	39
3.1.4.2 Jarak Pemasangan Kabel	39
3.1.4.3 Dimensi Kabel	40
3.2 Boundary / Support	44
3.3 Pembebanan Jembatan	45
3.3.1 Kombinasi Beban	45
3.3.2 Berat Sendiri (MS)	46

3.3.3 Beban Mati Tambahan (MA)	47
3.3.4 Beban Lajur “D” (TD)	48
3.3.5 Beban Bergerak (MVL) Truk dan Lajur	49
3.3.6 Beban Angin	51
3.3.7 Beban Rem	53
3.3.8 Beban Temperatur	55
3.3.9 Beban Gempa	55
3.3.10 Shrinkage / Creep – Time Dependant Material	58
3.3.11 Load to Masses	60
3.4 Pelat Lantai Jembatan	61
3.5 Construction Stage	65
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	69
4.1 Diagram Alir	69
4.2 Analisis Komponen Struktur Jembatan Beruji Kabel	70
4.2.1 Gelagar / Girder / <i>Deck</i> Jembatan	70
4.2.2 Metode Penentuan Dimensi Kabel	74
4.2.3 Pengaruh Tinggi Pylon dan Sudut Kabel	75
4.2.4 Deformasi Pylon	76
4.3 Kontrol Tegangan Kabel Saat Layan (Service)	77
4.4 Gaya Dalam Akibat Pembebanan SNI	78
4.5 Analisis Construction Stage	84
4.6 Detail Penulangan Pylon	90
4.6.1 Tulangan Longitudinal	90
4.6.2 Tulangan Transversal	93
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN 1 DIMENSI AWAL PYLON	98
LAMPIRAN 2 PELAT LANTAI JEMBATAN	101

LAMPIRAN 3 STEEL CODE CHECK – ANSI/AISC 360-16 LFRD..... 111
LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN DETAIL PENULANGAN TRANSVERSAL PYLON 127



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SNI	: Standar Nasional Indonesia
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
A_s	: Luas Kabel Total (mm^2)
A_{sc}	: Luas Penampang Kabel (mm^2)
A_{perlu}	: Luas Penampang Perlu Pylon (mm^2)
N_{pg}	: Gaya Normal Maksimum Pylon (N)
g	: Beban Mati Merata (kN/m)
p	: Beban Hidup Merata (kN/m)
a	: panjang span jembatan (mm)
Q_{Ha}	: Kuantitas dari kabel di bentang tepi untuk jembatan tipe harp (N)
Q_{Hm}	: Kuantitas dari kabel di bentang tengah untuk jembatan tipe harp (N)
Q_{pt}	: kuantitas dari puncak pylon (N)
γ_c	: Berat Isi Beton (kN/m^3)
γ_{pl}	: Berat Isi Beton Pada Pylon (kN/m^3)
w	: Lebar bersih jembatan (m)
D	: Tebal Pelat Lantai Jembatan (mm)
b	: Lebar Penampang (mm)
h	: Tinggi Penampang (mm)
d	: Tinggi Gelagar Jembatan (mm)
L_b	: Panjang Balok Baja (mm)
l	: Panjang Total Bentang Jembatan (mm)
MS	: Berat Sendiri
MA	: Beban Mati Tambahan
PR	: Prategang

TB	: Gaya Akibat Rem
EQ	: Gaya Gempa
TT	: Beban Truk
TD	: Beban Lajur "D"
EUn	: Gaya Akibat Temperatur Seragam
EWs	: Beban Angin Pada Struktur
EWI	: Beban Angin Kendaraan
BTR	: Beban Terbagi Rata
BGT	: Beban Garis Terpusat
q	: Intensitas Beban Terbagi Rata
V_{DZ}	: Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)
V_{10}	: Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
V_B	: Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm
Z	: Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)
V_0	: Kecepatan gesekan angin
Z_0	: Panjang gesekan di hulu jembatan
FBD	: Faktor Beban Dinamis
P_D	: Tekanan Angin Rencana
R	: Faktor Modifikasi Respon
δ_{izin}	: Deformasi Izin (mm)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Perbandingan Momen Lentur pada Gelagar Jembatan (Svensson, 2012)	2
Gambar 1.2 Perbandingan Penggunaan Tipe Jembatan di Indonesia (B, Suhendro 2022)	2
Gambar 1.3 Komponen Penyusun Jembatan (Weiwei, 2017)	3
Gambar 1.4 Bentang Jembatan Ekonomis (Svensson, 2012).....	4
Gambar 1.5 Perkembangan Bentang Jembatan (Svensson, 2012)	5
Gambar 2.1 7 Wire Strand – ASTM A416 (zgxyfmetal.com)	10
Gambar 2.2 Metode Semi Manual untuk Tegangan Kabel	11
Gambar 2.3 Konfigurasi Kabel Arah Memanjang (Longitudinal) (Wei Wei Lin, 2017)	13
Gambar 2.4 Konfigurasi Kabel Arah Melintang (Transversal) (Wei Wei Lin, 2017)	14
Gambar 2.5 Bentuk Menara (Walther, 1999).....	15
Gambar 2.6 Tinggi Pylon Ekonomis (Leonhardt, 1987).....	15
Gambar 2.7 Sketsa Penentuan Kuantitas dari Kabel dan Pylon untuk Harp (Gimsing,1983)	16
Gambar 2.8 Macam tipe Gelagar Pada Potongan Melintang (Troitsky, 1988) ...	17
Gambar 2.9 Konfigurasi dan Susunan Komponen Balok Jembatan Baja (mellowpine.com)	18
Gambar 2.10 Beban lajur “D” (SNI 1725:2016)	23
Gambar 2.11 Pembebanan Truk “T” (500kN)	24
Gambar 2.12 Faktor Beban Dinamis untuk beban “T” dan Lajur “D”	25
Gambar 2.13 Metode Staging	32
Gambar 3.1 Tampak Tiga Dimensi Model Jembatan Beruji Kabel	34
Gambar 3.2 Tampak Melintang Pylon	35
Gambar 3.3 Tampak Satu Segmen Girder Jembatan.....	36
Gambar 3.4 Tampak Tiga Dimensi Main Box Girder.....	37
Gambar 3.5 Tampak Tiga Dimensi Gelagar Melintang	38
Gambar 3.6 Tampak Tiga Dimensi Gelagar Memanjang	38

Gambar 3.7 Tampak Konfigurasi Kabel Memanjang Jembatan	39
Gambar 3.8 Reaksi Perletakan Titik Kabel	40
Gambar 3.9 Asumsi Pretension Load	42
Gambar 3.10 Group Elemen Deck dan Titik Kabel	42
Gambar 3.11 Detail Unknown Load Factor	43
Gambar 3.12 Hasil Unknown Load Factor.....	43
Gambar 3.13 Hasil Cable Force Tuning.....	43
Gambar 3.14 Hasil Tunning – Update to Present Model	44
Gambar 3.15 Assign Perletakan – Jepit – Sendi.....	44
Gambar 3.16 Assign Rigid Link.....	45
Gambar 3.17 Input Self Weight.....	47
Gambar 3.18 Beban Air Hujan.....	47
Gambar 3.19 Beban Aspal.....	48
Gambar 3.20 Beban Lajur “D”	49
Gambar 3.21 Input Beban SNI - Moving Load.....	50
Gambar 3.22 Tampak Atas Beban Lajur MVL.....	50
Gambar 3.23 Input Beban Truk - Moving Load.....	51
Gambar 3.24 Tampak Atas Beban Lajur Truk	51
Gambar 3.25 Beban Angin Pada Struktur (EW_s)	52
Gambar 3.26 Gaya Angin Akibat Kendaraan (EWI) – Kondisi 1	53
Gambar 3.27 Gaya Angin Akibat Kendaraan (EWI) – Kondisi 2.....	53
Gambar 3.28 Gaya Angin Akibat Kendaraan (EWI) – Kondisi 3.....	53
Gambar 3.29 Gaya Rem Akibat Kendaraan – Kondisi 1	54
Gambar 3.30 Gaya Rem Akibat Kendaraan – Kondisi 2	54
Gambar 3.31 Gaya Rem Akibat Kendaraan – Kondisi 3	54
Gambar 3.32 Beban Temperatur	55
Gambar 3.33 Grafik Respon Spektra	56
Gambar 3.34 Input Data Fungsi Respon Spektrum Gempa	57
Gambar 3.35 Load Case Gempa Arah X.....	57
Gambar 3.36 Load Case Gempa Arah Y.....	57
Gambar 3.37 Input Frekuensi Pada Eigenvalue Analysis	58
Gambar 3.38 Assign Creep / Shrinkage - Pylon	58

Gambar 3.39 Kurva Creep / Shrinkage – Pylon	59
Gambar 3.40 Assign Creep / Shrinkage - Pelat	59
Gambar 3.41 Kurva Creep / Shrinkage - Pelat	59
Gambar 3.42 Input Time Dependent Material Link	60
Gambar 3.43 Load to Masses	60
Gambar 3.44 Tampak Melintang Jembatan – Desain Pelat	61
Gambar 3.45 Load Pattern SAP 2000 untuk Berbagai Macam Kondisi Pembebanan	61
Gambar 3.46 Kondisi 1 – Beban Kendaraan Pelat	62
Gambar 3.47 Kondisi 1 – Beban Kendaraan Pelat	62
Gambar 3.48 Kondisi 1 – Beban Kendaraan Pelat	62
Gambar 3.49 Kondisi 1 – Beban Kendaraan Pelat	62
Gambar 3.50 Kondisi 1 – Beban Kendaraan Pelat	62
Gambar 3.51 Kondisi 1 – Beban Kendaraan Pelat	62
Gambar 3.52 Load Cases – Live Load	63
Gambar 3.53 Kombinasi Pembebanan Pelat Lantai	63
Gambar 3.54 Geser Pelat Pons	64
Gambar 3.55 Compose Construction Stage	65
Gambar 3.56 Output Construction Stage Pada Load Cases	68
Gambar 3.57 Summation Akibat Construction Stage Akibat Kuat I	68
Gambar 4.1 Diagram Alir	69
Gambar 4.2 Deformasi Box Girder Akibat LL – Dimensi Awal	71
Gambar 4.3 Deformasi Box Girder Akibat LL – Dimensi Akhir	72
Gambar 4.4 Deformasi Pada Cross Beam	73
Gambar 4.5 Deformasi Pada Stringer	73
Gambar 4.6 Pengaturan Displacement ULF dengan Batas Atas dan Bawah	75
Gambar 4.7 Kontrol Displacement Metode Unknown Load Factor - Cable Tunning	75
Gambar 4.8 Kontrol Displacement Metode Semi Manual - Cable Tunning	75
Gambar 4.9 Model Analisis Tinggi Pylon dan Sudut Kabel	75
Gambar 4.10 Deformasi Pylon	77
Gambar 4.11 Deformasi Pylon Akibat Beban Moving Load – SNI	77

Gambar 4.12 Deformasi Pylon Akibat Beban Moving Load – Truk	77
Gambar 4.13 Tegangan Tarik Kabel Saat Kondisi Layan.....	78
Gambar 4.14 Gaya Dalam Box Girder Maksimum Akibat Kombinasi Kuat.....	79
Gambar 4.15 Gaya Dalam Box Girder Minimum Akibat Kombinasi Kuat.....	79
Gambar 4.16 Gaya Dalam Box Girder Maksimum Akibat Kombinasi Ekstrem	80
Gambar 4.17 Gaya Dalam Box Girder Minimum Akibat Kombinasi Ekstrem ..	80
Gambar 4.18 Gaya Dalam Box Girder Maksimum Akibat Kombinasi Daya Layan.....	81
Gambar 4.19 Gaya Dalam Box Girder Minimum Akibat Kombinasi Daya Layan	81
Gambar 4.20 Gaya Dalam Box Girder Maksimum Akibat Kombinasi Fatik	82
Gambar 4.21 Gaya Dalam Box Girder Minimum Akibat Kombinasi Fatik	82
Gambar 4.22 Komponen Beban Kuat I	83
Gambar 4.23 Gaya Dalam Akibat Kuat I	83
Gambar 4.24 Asumsi Kombinasi Pengecekan Besarnya Gaya Dalam	84
Gambar 4.25 Cek Penyebab Besaran Gaya Dalam	84
Gambar 4.26 Gaya Aksial akibat Kuat Sebelum dan Setelah Construction Stage	85
Gambar 4.27 Momen y akibat Kuat Sebelum dan Setelah Construction Stage ..	86
Gambar 4.28 Moment Tanpa CS – KUAT I	87
Gambar 4.29 Gaya Dalam Setelah CS – KUAT I.....	87
Gambar 4.30 Input Material – SP Column.....	91
Gambar 4.31 Model Penampang Pylon Pada SP Column.....	91
Gambar 4.32 Diagram Interaksi Pylon.....	92
Gambar 4.33 Ratio Penulangan Longitudinal Pylon.....	93
Gambar 4.34 Detail Penulangan Transversal Pylon.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat Isi untuk Beban Mati	20
Tabel 2.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	20
Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	22
Tabel 2.4 Jumlah Lanjur Lalu Lintas Rencana	22
Tabel 2.5 Faktor Beban Lajur Kendaraan “D”	24
Tabel 2.6 Faktor beban truk “T”	25
Tabel 2.7 Persyaratan Temperatur Jembatan rata-rata	26
Tabel 2.8 Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang	26
Tabel 2.9 Nilai V0 dan Z0 untuk variasi kondisi permukaan hulu	28
Tabel 2.10 Tekanan Angin Dasar	28
Tabel 2.11 Beban angin yang bekerja pada kendaraan	29
Tabel 2.12 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk bangunan bawah	30
Tabel 2.13 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur	30
Tabel 2.14 Output Construction Stage Analysis Midas (manual)	33
Tabel 3.1 Data Dimensi Kabel	40
Tabel 3.2 Perhitungan Dimensi dan Jumlah Kabel (Semi-Manual)	40
Tabel 3.3 Perhitungan Dimensi dan Jumlah Kabel (Unknown Load Factor)	44
Tabel 3.4 Kombinasi Beban SNI 1725-2016	46
Tabel 3.5 Kombinasi Beban Gempa	46
Tabel 3.6 Kombinasi Beban Lajur Truk – Moving Load	50
Tabel 3.7 Data Respon Spektra	56
Tabel 3.8 Rekap Nilai Momen Ultimit Pelat Hasil Analisis	63
Tabel 3.9 Tahapan Construction Stage	66
Tabel 4.1 Dimensi Gelagar Awal	70
Tabel 4.2 Dimensi Gelagar Akhir	71
Tabel 4.3 Persentase Perbesaran Dimensi Penampang	72
Tabel 4.4 Perbandingan Tinggi Pylon dan Sudut Kabel	76
Tabel 4.5 Output Gaya Aksial Box Girder Sebelum & Setelah Construction Stage	85

Tabel 4.6 Output Momen y Box Girder Sebelum & Setelah Construction Stage 86
Tabel 4.7 Tahapan Perubahan Gaya Dalam Akibat Construction Stage..... 88
Tabel 4.8 Data Output Gaya Aksial dan Lentur – Tulangan Longitudinal 91
Tabel 4.9 Rekap Hasil Perhitungan Tulangan Longitudinal dan Transversal..... 94



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Dimensi Awal Pylon	98
LAMPIRAN 2 Pelat Lantai Jembatan	101
LAMPIRAN 3 Steel Code Check – ANSI/AISC 360-16 LFRD	111
LAMPIRAN 4 Perhitungan Detail Penulangan Transversal Pylon	127



BAB 1

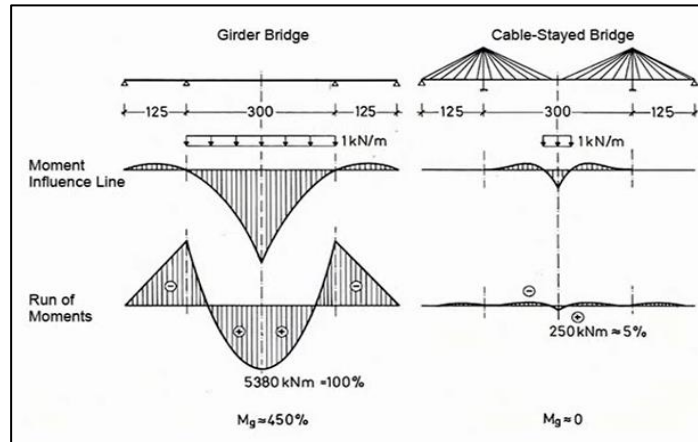
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan beruji kabel (cable stayed bridge) merupakan salah satu jenis jembatan bentang panjang dimana seluruh beban dan gaya pada gelagar menerus (atau dek jembatan) dipikul oleh kabel yang menumpu pada menara (pylon). Desain awal jembatan beruji kabel mulai dikenal pada tahun 1595 pada buku *Machinae Novae* dengan material kayu. Keterbatasan informasi terkait perencanaan jembatan kabel saat itu menjadi salah satu faktor penghambat proses konstruksi sehingga beberapa diantara jembatan tersebut runtuh akibat sistem kabel, pemilihan material, dan kondisi pembebanan yang kurang tepat. Pada awal abad ke-19 jembatan beruji kabel mulai umum untuk digunakan seperti beberapa jembatan lainnya seperti jembatan rangka, jembatan lengkung, dan jembatan gantung karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan jembatan lainnya terutama dalam kasus jembatan berbentang panjang (Troitsky,1977). Menurut Svensson (2012) sampai saat ini jembatan beruji kabel dapat digunakan pada bentang 100 dengan satu pylon hingga 1100 m dengan dua pylon, sehingga memiliki kapasitas bentang lebih panjang dibanding dengan jembatan kantilever, jembatan rangka, jembatan lengkung, dan jembatan box girder, tetapi lebih pendek daripada jembatan gantung

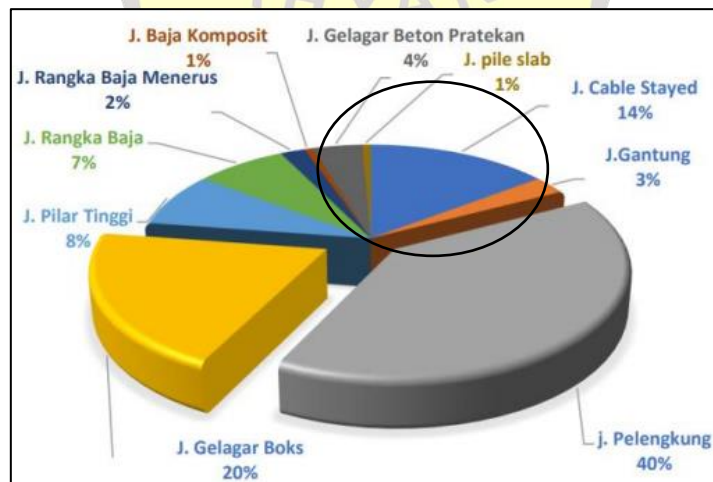
Secara umum jembatan beruji kabel memberikan kesan estetik dan ekonomis khususnya dalam penggunaan material karena dimensi girder yang relatif lebih kecil dibanding jembatan tipe lainnya. Jika dilihat dari sisi analisis struktur, sistem jembatan beruji kabel menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi momen lentur seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1 karena adanya transfer beban dari gelagar ke sistem kabel. Disamping itu, jembatan beruji kabel memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jembatan gantung sehingga mampu diaplikasikan dalam berbagai macam kombinasi pembebanan, contohnya beban untuk jalan rel. Metode konstruksi untuk jembatan beruji kabel yaitu *balance cantilever method* tergolong efisien sehingga menghemat waktu pelaksanaan dan

distribusi beban selama konstruksi stabil karena dikerjakan secara bertahap (Weiwei Lin, 2017).



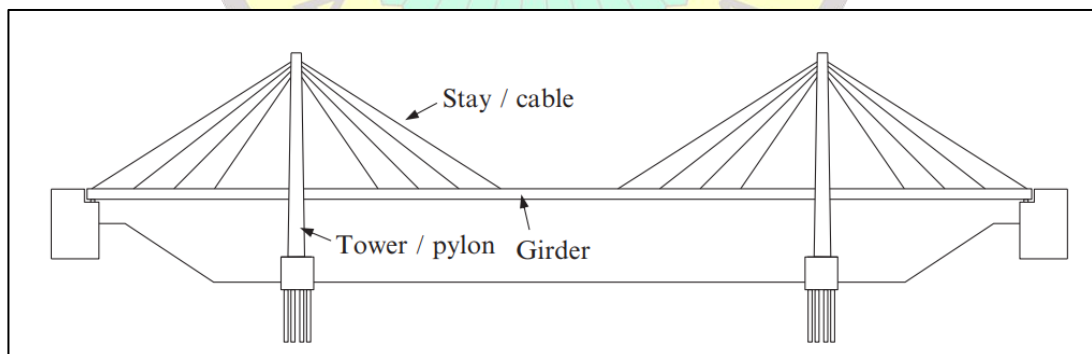
Gambar 1.1 Perbandingan Momen Lentur pada Gelagar Jembatan (Svensson, 2012)

Terlepas keunggulan yang dijelaskan sebelumnya, faktanya sampai tahun 2022 tercatat hanya terdapat sejumlah 200 jembatan bentang panjang dengan berbagai tipe jembatan. Gambar 1.2 menunjukkan bahwa penggunaan jembatan beruji kabel hingga saat ini masih belum banyak dilakukan di Indonesia dibandingkan dengan jembatan lengkung (arc bridge) dan gelagar boks. Padahal, Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar berpotensi memiliki peningkatan jumlah kebutuhan serta aksesibilitas jembatan bentang panjang dalam mengakomodasi kegiatan transportasi antar pulau.



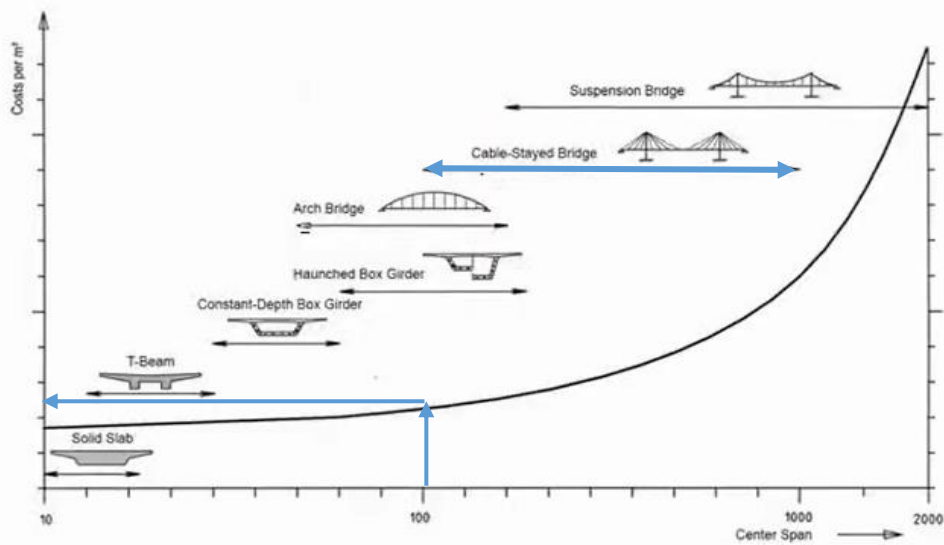
Gambar 1.2 Perbandingan Penggunaan Tipe Jembatan di Indonesia (B, Suhendro 2022)

Mengacu pada jembatan Nipigon River, Canada (2016) dan Chirajara Viaduct, Colombia (2018), kasus kegagalan pada jembatan beruji kabel menjadi vital untuk dijadikan sebagai bahan evaluasi terhadap proses perencanaan jembatan. Kasus kegagalan jembatan didasari adanya kekurangan dalam proses desain sehingga adanya keruntuhan pada gelagar dan tie beam. selama jembatan dipakai. Hal tersebut juga yang menjadi salah satu faktor penyebab perencanaan dan perancangan jembatan beruji kabel jarang dilakukan di Indonesia karena adanya pertimbangan terhadap kebutuhan, persyaratan teknis serta estetika yang lebih detail dibanding jembatan jenis lainnya. Persyaratan teknis berhubungan dengan standar atau peraturan yang digunakan dalam proses perencanaan, yaitu penyesuaian dimensi pada pemodelan struktur dan kesesuaian metode pelaksanaan proyek di lapangan. Pemodelan struktur atas jembatan cable stayed menjadi kompleks dibanding jenis jembatan lainnya karena memerlukan komponen penyusun ditunjukkan Gambar 1.3 dan klasifikasi yang lebih banyak yaitu dalam penentuan susunan kabel (stay cable arrangements), penentuan jumlah bentang dan menara (pylon), penentuan konfigurasi (Harp, Fan, Mono) dan material kabel (strand), pemilihan bentuk pylon (A-shape, diamond-shape, Y-shape, H-shape), penentuan material girder baja atau beton, proses analisis dengan program, metode pelaksanaan konstruksi berupa tahapan pekerjaan dan proses cable tuning serta perawatan jembatan (maintenance).



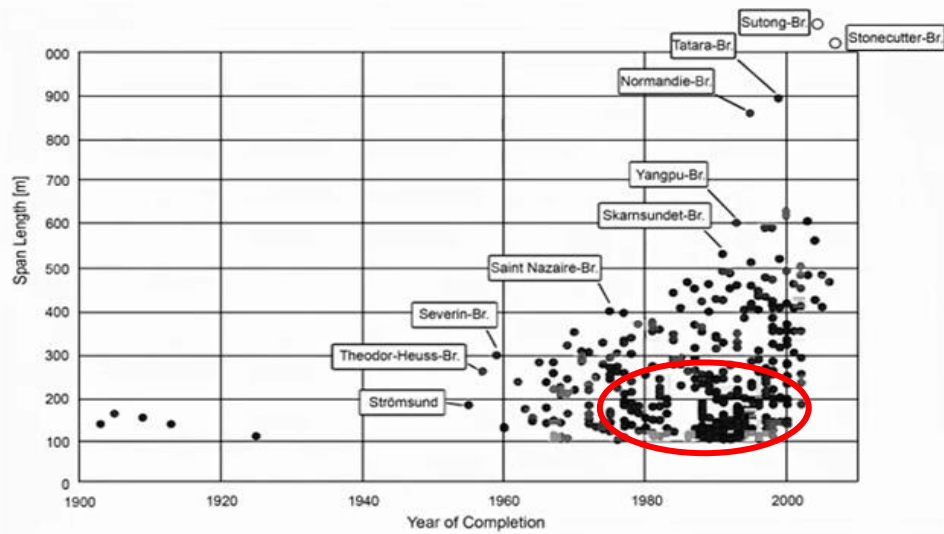
Gambar 1.3 Komponen Penyusun Jembatan (Weiwei, 2017)

Berdasarkan perkembangan jumlah jembatan cable stayed dari tahun ke tahun pada Gambar 1.4 dan bentang ekonomis jembatan sesuai Gambar 1.5 bentang jembatan sepanjang 208 meter dapat dijadikan sebagai awal perencanaan. Menurut Thakkar (2011) bentuk A pada pylon menghasilkan perilaku gaya aksial, torsi, dan momen yang cukup baik. Gelagar jembatan menggunakan material baja karena mengurangi berat struktur 80% dan gaya tarik pada kabel jika dibandingkan dengan material beton. Konfigurasi kabel dipilih double plane harp system dengan alasan perilaku torsi pada girder sangat kecil sehingga dapat diabaikan, momen yang terjadi pada gelagar dapat berkurang, dan dimensi gelagar dapat diperkecil. Perilaku harp cable system memang kurang menguntungkan jika dibandingkan dengan fan cable system karena sudut atau kemiringan kabel yang lebih kecil, namun dari segi perencanaan (pengerjaan detail sambungan) dan pelaksanaan jauh lebih mudah.



Relation between Construction Costs per m² and Main Span Lengths

Gambar 1.4 Bentang Jembatan Ekonomis (Svensson, 2012)



Relation between Span Lengths and Year of Completion

Gambar 1.5 Perkembangan Bentang Jembatan (Svensson, 2012)

1.2 Inti Permasalahan

Perencanaan jembatan bentang panjang masih terbatas jika dibandingkan dengan jembatan bentang menengah dan pendek di Indonesia sehingga menjadi tantangan baru dalam perkembangan ilmu yang membahas terkait perencanaan jembatan beruji kabel dengan *double plane system harp cable*. Mengacu pada beberapa kasus kegagalan jembatan, proses analisis untuk masing-masing komponen jembatan beruji kabel menjadi vital terhadap syarat deformasi akibat pembebanan. Selain itu perlu diketahui apa saja pengaruh dan dampak dari proses penerapan *construction stage analysis* pada perencanaan jembatan beruji kabel.

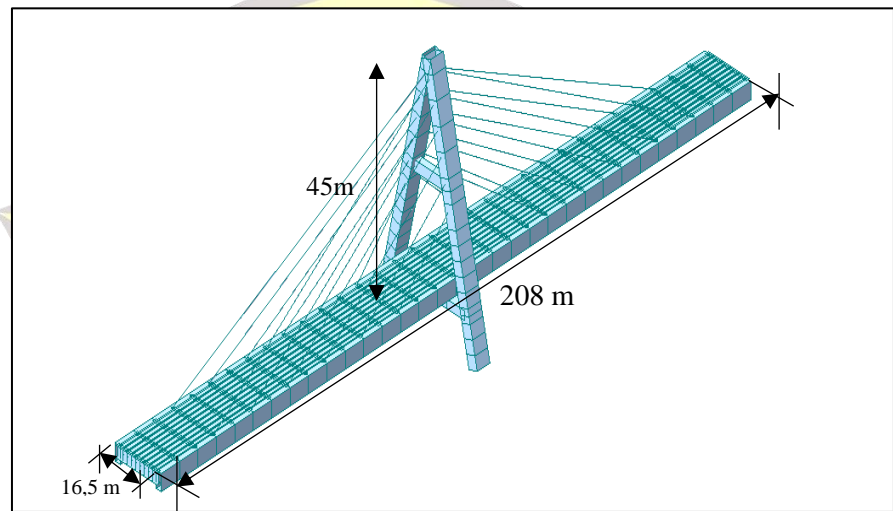
1.3 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini secara khusus untuk melakukan perencanaan jembatan beruji kabel dengan *double plane system harp cable* berdasarkan syarat SNI 1725-2016, SNI 2833-2016 dan AASHTO LFRD serta diliputi penerapan *construction stage analysis* pada pemodelan.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Tipe jembatan yang dimodelkan adalah jembatan beruji kabel dengan dimensi:
 - a. Panjang total Jembatan : 208 m
 - b. Lebar Jembatan Total : 15.5 m
 - c. Lebar jalan : 13.5 m (4 lajur 2 arah dengan median) sesuai ketentuan SNI 1725 – 2016 Tabel 11.
 - d. Bentang utama : 104 m (kanan- kiri menara)
 - e. Tinggi Pylon : 45 m



Gambar 1.6 Tampak 3D Jembatan

2. Model menara (pylon) yang digunakan adalah A shape single tower
3. Konfigurasi Kabel yang digunakan Double Plane Harp System
4. Material struktur lantai yang digunakan adalah baja SM570 dengan:

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$f_y = 460 \text{ MPa}$$

$$f_u = 570 \text{ MPa}$$

$$\text{Poisson Ratio Baja} = 0.3$$

Penampang:

- a. Primary Girder Box: Profil Rectangular Box
- b. Cross Girder: IWF
- c. Stringer Beam: IWF

5. Material pylon adalah beton rectangular dengan $f'_c = 50$ MPa
 - a. Berat Jenis = 2,4 ton/m³
 - b. Poisson ratio beton = 0,2
 - c. Modulus Elastisitas beton : $4700\sqrt{f_c}$
 - d. Tulangan : BJTS 420 : $f_y = 420$ MPa
6. Material kabel (strand) produksi PT.VSL Indonesia - ASTM A16/A416-06 *Low Relaxation Strand* dengan material properties sebagai berikut:
 - a. Diameter 0,6 inci (15,3 mm)
 - b. Modulus elastisitas $E_p = 195000$ MPa
 - c. Poisson ratio baja $\mu = 0,3$
 - d. Kuat putus nominal $F_u = 1860$ MPa
7. Pembebanan statik dan dinamik jembatan mengacu pada SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan dan SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.
8. Analisis jembatan sesuai AASHTO LFRD Bridge Design – 2017.
9. Analisis pemodelan jembatan menggunakan bantuan program MIDAS CIVIL dengan analisis tahapan konstruksi (*construction stage analysis*).

1.5 Metode Penelitian

Pada tugas akhir ini digunakan metode penelitian sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Sumber informasi terkait penulisan tugas akhir diperoleh dari buku, jurnal, dan standar peraturan nasional maupun internasional sebagai pedoman dalam merencanakan serta menganalisis struktur jembatan beruji kabel.
2. Studi Analisis
Proses pemodelan dan analisis menggunakan bantuan program MIDAS CIVIL.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar sistematis skripsi dibagi menjadi beberapa bagian bab penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab satu membahas secara umum latar belakang, rumusan masalah, tujuan, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab dua membahas dasar teori jembatan beserta persyaratan pembebanan jembatan menurut SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016 serta metode analisis yang digunakan dalam merencanakan sebuah jembatan.

BAB III STUDI KASUS DAN PEMODELAN

Bab tiga berisi bahasan mengenai pemodelan struktur jembatan (preliminary design) beserta proses input beban dengan bantuan program MIDAS CIVIL.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab empat berisi analisis perilaku deformasi dan gaya dalam dari hasil output yang diperoleh dari MIDAS CIVIL akibat pembebanan SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir berisi kesimpulan dan saran atas perencanaan jembatan yang dilakukan.

