

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS PENGGUNAAN *CARBON FIBER
REINFORCED POLYMER* SEBAGAI PENGGANTI
SEBAGIAN TULANGAN PRATEGANG PADA
JEMBATAN *BALANCED CANTILEVER***



**BRYAN
NPM : 2017410095**

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

KO-PEMBIMBING: Altho Sagara, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2021**

SKRIPSI

STUDI ANALISIS PENGGUNAAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN TULANGAN PRATEGANG PADA JEMBATAN *BALANCED CANTILEVER*



BRYAN
NPM : 2017410095

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

KO-PEMBIMBING: Altho Sagara, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2021

SKRIPSI

STUDI ANALISIS PENGGUNAAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN TULANGAN PRATEGANG PADA JEMBATAN *BALANCED CANTILEVER*



BRYAN
NPM : 2017410095

BANDUNG, 20 JANUARI 2021

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

Altho Sagara, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2021

PERNYATAAN

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

Nama : Bryan

NPM : 2017410095

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:
**STUDI ANALISIS PENGGUNAAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN TULANGAN PRATEGANG PADA
JEMBATAN *BALANCED CANTILEVER***

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 Bandar Lampung
6 Januari 2021



Bryan
2017410095

STUDI ANALISIS PENGGUNAAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN TULANGAN PRATEGANG PADA JEMBATAN *BALANCED CANTILEVER*

Bryan
NPM: 2017410095

Pembimbing: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.
Ko-Pembimbing: Altho Sagara, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2021

ABSTRAK

Terdapat beberapa metode konstruksi jembatan yang umum digunakan, salah satunya adalah metode konstruksi jembatan secara *balanced cantilever*. Metode konstruksi jembatan *balanced cantilever* sangat cocok digunakan pada daerah lembah dan perairan, atau pada daerah yang aktivitasnya padat. Hal ini dikarenakan konstruksi langsung dilakukan di atas jembatan dengan memanfaatkan efek kantilever, dan penggunaan perancah sangat minim. Namun, metode konstruksi ini memiliki kelemahan, yaitu penggunaan tulangan prategang pada tepi atas yang boros untuk menopang berat segmen-segmen jembatan selama masa konstruksi. Studi kasus ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) sebagai pengganti dari sebagian tulangan prategang tersebut. Bentang jembatan sepanjang 80 meter yang akan dianalisis dibangun secara *cast in-situ* dengan mutu beton 45 MPa dan menggunakan gelagar *box girder* bertipe *1-cell*. Pemodelan dan analisis dilakukan dengan bantuan program MIDAS Civil serta perhitungan manual. Jumlah reduksi *strand* didapat dengan membandingkan kebutuhan *strand* pada jembatan tanpa CFRP dengan jumlah *strand* yang optimal, terhadap jembatan dengan jumlah *strand* yang dikurangi dan digunakan CFRP berbagai variasi ukuran. Jumlah *strand* dan ukuran CFRP yang digunakan berdasarkan pertimbangan terhadap batas tegangan ijin, kuat lentur dari *box girder*, dan jumlah minimum tulangan prategang yang harus digunakan. Dari hasil analisis, didapatkan reduksi jumlah *strand* total tulangan prategang sebesar 11.75% atau 48 *strand* tiap bentang jembatan jika dipasang CFRP 1 lapis dengan lebar 6 m sepanjang 11.5 m dari tengah pilar dibandingkan pada jembatan tanpa CFRP dengan jumlah *strand* tulangan prategang yang optimal.

Kata Kunci: Jembatan *Balanced Cantilever*, Tulangan Baja Prategang, *Carbon Fiber Reinforced Polymer*, *Box Girder*, Reduksi *Strand*

ANALYTICAL STUDY OF CARBON FIBER REINFORCED POLYMER APPLICATION AS PARTIAL PRESTRESSED STEEL ALTERNATIVES IN BALANCED CANTILEVER BRIDGE

Bryan
NPM: 2017410095

Advisor: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.
Co-Advisor: Altho Sagara, S.T., M.T.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL
ENGINEERING

(Accredited by SK BAN-PT Number: No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)

BANDUNG
JANUARY 2021

ABSTRACT

There are various methods available for bridge construction, one of which is balanced cantilever method. Balanced cantilever method is suitable for bridge construction over valley/waters, or even in areas where minimal interferences are expected. This is mainly due the constructions which are done directly over the bridge utilizing cantilever effect, and the use of falsework is very minimal. However, there are several drawbacks from this method, one of them is the excessive usage of top prestressed reinforcements that holds bridge segments in place during construction stage. This analytical study aims to analyze Carbon Fiber Reinforced Polymer application as prestressed steel reduction in balanced cantilever bridge. The 80 meters bridge span is built using cast in-situ construction with 45 MPa concrete grade and 1-cell box girder type segments. The modeling process and analysis are done using MIDAS Civil and manual calculations. The amount of strand reductions is obtained by comparing the amount of prestressed steel needed with optimal usage, and the amount of prestressed steel needed with reduced strands combined with the use of various CFRP sizes. The amount of prestressed used is considered based on permissible stress, flexural strength of the girders, and the minimum amount used according to the standards. Based on the analysis results, the amount of strand reductions obtained on the bridge with 1 layer 6 meters wide CFRP is 11.75% or 48 strands per bridge span, compared to the bridge with optimal prestressed steel usage without CFRP.

Keywords: Balanced Cantilever Bridge, Prestressed Steel Reinforcement, Carbon Fiber Reinforced Polymer, Box Girder, Strand Reduction

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari banyak halangan yang ditemui, namun berkat bimbingan, saran, masukan, kritik, dan dorongan dari berbagai pihak, skripsi ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaganya untuk memberikan bimbingan, arahan, koreksi, dan masukan yang sangat membantu dalam proses penyusunan skripsi ini sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu.
2. Bapak Altho Sagara, S.T., M.T. selaku dosen ko-pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaganya untuk memberikan bimbingan, arahan, koreksi, dan masukan yang sangat membantu dalam proses penyusunan skripsi ini sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu.
3. Bapak Wisena Perceka, Ph.D., Bapak Liyanto Eddy, Ph.D., Ibu Wivia Octarena, S.T., M.T., dan Ibu Buen Sian, Ir., M.T. selaku dosen pembahas yang telah memberikan banyak masukan dan saran kepada penulis selama seminar judul dan seminar isi.
4. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. dan Bapak Herry Suryadi Djayaprabha, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak komentar, masukan, dan saran kepada penulis.
5. Orang tua penulis, Cynthia dan Yolly, serta kakak penulis, Stevenly, yang senantiasa memberikan dukungan moral selama masa perkuliahan dan skripsi, serta doa-doanya yang dipanjatkan.

6. Seluruh dosen di lingkungan Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan pengetahuan, bimbingan, serta arahan kepada penulis selama masa studi.
7. Alvin Setiawan, Michael Chang, Alponsus D., Hermawan, Ferdinand, Wilson Widagdo, Jonathan Wijaya, Grisella Aglia, Rose Marry, Muhammad Ridwan Karliman, serta teman-teman lainnya yang tidak dapat disebut satu per satu yang selalu memberikan semangat dan penghiburan kepada penulis selama masa perkuliahan dan penulisan skripsi ini.
8. Sudandy, Muhammad Fahri, Rosdina Ningrum, Natanael Eduardo, Muhammad Fathur Abrar, dan Madison Lyman selaku teman seperjuangan skripsi bimbingan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dan membuat penulis untuk menjadi lebih baik. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 20 Januari 2021



Bryan

2017410095

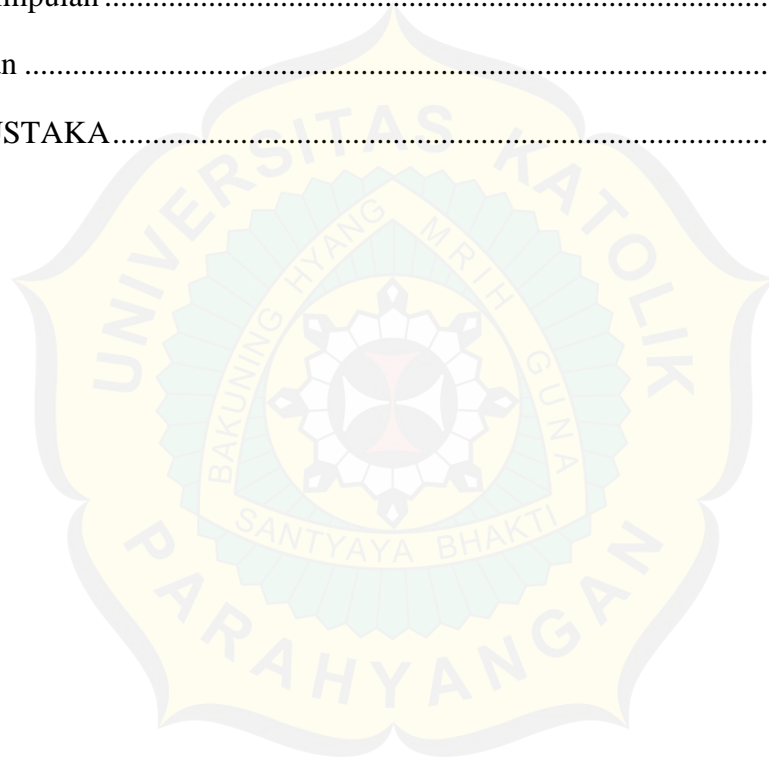
DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR LAMPIRAN	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang Masalah	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penelitian	1-2
1.4 Pembatasan Masalah	1-2
1.5 Metode Penulisan	1-4
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1 <i>Fiber Reinforced Polymer</i>	2-1
2.1.1 Bentuk <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> yang Tersedia	2-2
2.1.2 Persyaratan Instalasi <i>Fiber Reinforced Polymer</i>	2-4
2.1.3 Perhitungan <i>Fiber Reinforced Polymer</i> Sebagai Alternatif Pengganti Tulangan Prategang	2-7
2.1.4 Kekuatan Struktur Terhadap <i>Failure</i> dan Kebakaran	2-16
2.2 Jembatan <i>Balanced Cantilever</i>	2-17
2.2.1 Kelebihan & Kekurangan Metode Konstruksi <i>Balanced Cantilever</i>	2-17

2.2.2	Metode Konstruksi Jembatan <i>Balanced Cantilever</i> Secara Cast in-Situ	2-20
2.3	<i>Box Girder</i> Jembatan	2-22
2.3.1	Persyaratan Dimensi <i>Box Girder</i>	2-22
2.3.2	Persyaratan Defleksi	2-24
2.4	Baja Prategang	2-24
2.4.1	Persyaratan Properti Prategang	2-31
2.4.2	Persyaratan Tegangan Ijin Prategang	2-31
2.4.3	Persyaratan Tegangan Ijin Penampang	2-31
2.4.4	Persyaratan Jumlah Minimum Prategang dan Luas Selongsong ..	2-32
2.4.5	Persyaratan Pemasangan Tendon	2-34
2.5	Susut dan Rangkak	2-35
2.5.1	Susut pada Beton	2-36
2.5.2	Rangkak pada Beton	2-38
2.6	Standar Pembebanan Jembatan	2-41
2.6.1	Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan	2-41
2.6.2	Beban Permanen	2-44
2.6.3	Beban Sendiri	2-45
2.6.4	Beban Mati Tambahan	2-45
2.6.5	Beban Railing	2-46
2.6.6	Beban Lalu Lintas Kendaraan	2-46
2.6.7	Gaya Rem	2-51
2.6.8	Gaya Angin	2-51
2.6.9	Beban Temperatur	2-55
2.6.10	Pengaruh Prategang	2-57
2.6.11	Pengaruh Susut dan Rangkak	2-58

2.6.12	Beban Gempa.....	2-58
BAB 3	ANALISIS DAN PEMODELAN.....	3-1
3.1	Deskripsi Umum Jembatan.....	3-1
3.2	Spesifikasi Material.....	3-2
3.2.1	Beton.....	3-2
3.2.2	Tulangan Baja Prategang dan Selongsong.....	3-2
3.2.3	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>	3-4
3.3	Pemodelan Struktur Jembatan.....	3-4
3.3.1	Pengaturan <i>Layout</i> Struktur Jembatan.....	3-4
3.3.2	Pemodelan <i>Box Girder</i>	3-5
3.3.3	Pemodelan <i>Layout</i> Prategang, Tendon, dan Variasinya.....	3-5
3.3.4	Pengaturan Tahapan Konstruksi.....	3-7
3.4	Pemodelan Pembebanan Jembatan.....	3-10
3.4.1	Efek Rangkak dan Susut.....	3-11
3.4.2	Berat Sendiri.....	3-11
3.4.3	Beban Alat Konstruksi.....	3-11
3.4.4	Beban Mati Tambahan.....	3-12
3.4.5	Beban Lalu Lintas Kendaraan.....	3-13
3.4.6	Beban Rem.....	3-15
3.4.7	Beban Angin.....	3-16
3.4.8	Beban Temperatur.....	3-18
3.4.9	Beban Gempa.....	3-19
3.4.10	Kombinasi Pembebanan.....	3-21
BAB 4	HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	4-1
4.1	Perhitungan Kebutuhan Tulangan Prategang untuk Masa Konstruksi..	4-1
4.2	Analisis Masa Konstruksi.....	4-3

4.2.1	Diagram Momen dan Tegangan Akibat Berat Sendiri	4-3
4.2.2	Diagram Momen dan Tegangan Akibat Gaya Prategang.....	4-6
4.2.3	Diagram Momen dan Tegangan Akibat <i>Summation</i>	4-8
4.3	Analisis Masa Layan.....	4-11
4.3.1	Diagram Momen dan Tegangan Akibat Beban Layan	4-11
4.4	Perhitungan Kebutuhan Dimensi <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> .	4-14
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		5-1
5.1	Kesimpulan	5-1
5.2	Saran	5-2
DAFTAR PUSTAKA.....		xxvii



DAFTAR NOTASI

- A_c : luas penampang struktur
- A_f : luas penampang CFRP = $nw_f t_f$
- A_{ps} : luas penampang total tulangan prategang
- b : lebar penampang struktur
- c : jarak dari tepi tekan penampang ke sumbu netral
- C_b : jarak dari titik berat penampang ke tepi bawah penampang
- C_{sm} : koefisien respons elastik
- C_t : jarak dari titik berat penampang ke tepi atas penampang
- d_f : jarak dari tepi tekan penampang ke titik berat lembaran FRP
- d_p : jarak dari tepi tekan penampang ke titik berat tulangan prategang
- e : eksentrisitas prategang yang diukur dari titik berat penampang ke titik berat tulangan prategang
- E_c : modulus elastisitas beton = $4700\sqrt{f'_c}$
- E_f : modulus elastisitas FRP yang sudah dikoreksi terhadap faktor lingkungan
- E_{ps} : modulus elastisitas tulangan prategang
- E_Q : gaya gempa horizontal statis (kN)
- f_b : tegangan yang terjadi pada tepi bawah penampang
- $f_{c,s}$: tegangan tekan beton pada saat masa layan
- f_{cpe} : tegangan tekan beton pada tepi penampang akibat gaya efektif prategang saja setelah kehilangan prategang
- $f_{f,s}$: tegangan yang terjadi pada FRP akibat beban layan

- f_{fu} : kuat tarik ultimit desain FRP yang sudah dikoreksi terhadap faktor lingkungan
- f_{fu}^* : kuat tarik ultimit desain FRP dari data pabrik
- f_{pe} : tegangan efektif pada tulangan prategang akibat kehilangan prategang $\approx 0.9f_{pu}$
- f_{pi} : tegangan tarik prategang akibat kehilangan awal prategang = $0.74f_{pu}$
- f_{ps} : tegangan efektif pada tulangan
- $f_{ps,s}$: tegangan pada prategang yang terjadi akibat beban layan = $\varepsilon_{ps,s}E_{ps}$
- f_{py} : kuat tarik leleh tulangan prategang $\approx 0.9f_{pu}$
- f_{pu} : kuat tarik ultimit tulangan prategang
- f_r : modulus retak beton yang diambil sebesar $0.6\sqrt{f'_c}$ (ACI 440.2R-17)
- f^t : tegangan yang terjadi pada tepi atas penampang
- I_c : momen inersia penampang beton
- L_{av} : panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus
- l_{df} : panjang penyaluran CFRP pada permukaan
- L_g : panjang bentang ekuivalen jembatan
- L_{max} : panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus
- m : jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar
- M_D : momen yang terjadi akibat pengaruh beban mati struktur (*dead load*)
- M_{dnc} : total momen akibat beban mati tidak terfaktor pada komponen struktur monolit/non-komposit
- M_{nf} : momen nominal penampang akibat FRP

- M_{np} : momen nominal penampang akibat tulangan prategang
- M_r : ketahanan lentur terfaktor akibat tulangan prategang dan non-prategang = ϕM_n (AASHTO LRFD pasal 5.7.3.2.1)
- M_s : momen pada saat masa layan $M_{DL} + M_{LL}$
- M_T : momen yang terjadi akibat beban layan total
- n : jumlah lapis FRP yang digunakan
- N_i : nilai hasil uji penetrasi standar lapisan tanah ke-i
- P_B : tekanan angin dasar
- P_e : gaya prategang efektif yang diambil sebesar $0.8P_i \approx A_{ps} \times 0.6f_{pu}$
- PGA : percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
- P_i : gaya prategang akibat kehilangan awal prategang = $A_s \times f_{pi} = A_s \times 0.72f_{pu}$
- r : jari-jari girasi penampang beton = $\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}$
- R : faktor modifikasi respons
- S_1 : parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
- S_b : modulus penampang tebi bawah = $\frac{I_c}{c_b}$
- S_c : modulus penampang pada tepi tarik penampang komposit
- S_{nc} : modulus penampang pada tepi tarik penampang monolit/non-komposit
- S_s : parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T = 0,2$ detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
- S_t : modulus penampang tepi atas = $\frac{I_c}{c_t}$

- S_{ui} : kuat geser tak terdrainase lapisan tanah ke-i
- V_0 : kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel di bawah ini, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (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
- V_{DZ} : kecepatan angin rencana pada elevasi rencana
- V_{si} : kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i
- w_f : lebar CFRP yang digunakan
- W_t : berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)
- t_f : tebal satu lapis FRP yang digunakan
- t_i : tebal lapisan tanah ke-i
- Z_0 : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi
- Z : elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000 \text{ mm}$)

- ε_{bi} : regangan awal pada selimut beton
- $\varepsilon_{c,s}$: regangan tekan pada beton saat masa layan
- ε_{fd} : regangan efektif batas FRP yang diijinkan
- ε_{fe} : regangan efektif pada FRP
- ε_{fu} : regangan robek desain FRP yang sudah dikoreksi terhadap faktor lingkungan
- ε_{fu}^* : regangan robek desain FRP dari data pabrik
- ε_{pe} : regangan efektif pada tulangan prategang akibat kehilangan prategang = $\frac{f_{pe}}{E_{ps}}$
- ε_{pnet} : regangan tarik netto pada tulangan prategang
- $\varepsilon_{ps,s}$: regangan yang terjadi pada tulangan prategang pada saat masa layan
- ψ_f : faktor reduksi lentur tambahan untuk FRP = 0.85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tampak 3D Jembatan.....	1-3
Gambar 1.2 Tampak Atas Jembatan	1-3
Gambar 1.3 Tampak Samping Jembatan	1-4
Gambar 1.4 Potongan Melintang <i>Box Girder</i>	1-4
Gambar 2.1 CFRP Tipe <i>Strips</i>	2-3
Gambar 2.2 CFRP Tipe Lembaran.....	2-4
Gambar 2.3 CFRP Tipe <i>Bars</i>	2-4
Gambar 2.4 Panjang Minimum Pemasangan FRP	2-6
Gambar 2.5 Berbagai Model Keruntuhan Lentur Struktur yang Menggunakan FRP	2-8
Gambar 2.6 Ilustrasi Perhitungan Kebutuhan Dimensi CFRP melalui Diagram Regangan.....	2-16
Gambar 2.7 <i>Box Girder</i> Pracetak.....	2-18
Gambar 2.8 <i>Box Girder Cast in-Situ</i>	2-19
Gambar 2.9 Moda Transportasi <i>Box Girder</i> Pracetak.....	2-19
Gambar 2.10 Ilustrasi Tahapan Konstruksi Jembatan <i>Balanced Cantilever</i>	2-21
Gambar 2.11 Tulangan Prategang pada <i>Girder</i>	2-21
Gambar 2.12 <i>Form Traveller</i> pada Metode <i>Cast in-Situ</i>	2-22
Gambar 2.13 Ilustrasi Struktur Beton Prategang Pratarik.....	2-25
Gambar 2.14 Ilustrasi Struktur Beton Prategang Pascatarik	2-26
Gambar 2.15 Aplikasi Prategang pada Balok Tertumpu Sederhana.....	2-27
Gambar 2.16 Ilustrasi Diagram Tegangan Struktur Beton Prategang Sistem Kantilever.....	2-27
Gambar 2.17 Prategang Tipe <i>Strands</i>	2-30
Gambar 2.18 Prategang Tipe <i>Bars</i>	2-30
Gambar 2.19 Ilustrasi Fenomena Susut (<i>Shrinkage</i>).....	2-35
Gambar 2.20 Ilustrasi Fenomena Rangkak (<i>Creep</i>).....	2-36
Gambar 2.21 Grafik Penentuan Faktor Susut	2-38
Gambar 2.22 Grafik Penentuan Faktor Rangkak	2-40

Gambar 2.23 Beban Lajur “D”	2-47
Gambar 2.24 Alternatif Penempatan Beban “D” dalam Arah Memanjang.....	2-49
Gambar 2.25 Pembebanan Truk “T”	2-50
Gambar 2.26 Faktor Beban Dinamis untuk Pembebanan Lajur “D”	2-51
Gambar 2.27 Gradien Temperatur Vertikal pada Bangunan Atas Beton dan Baja	2-56
Gambar 2.28 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA) untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun	2-59
Gambar 2.29 Peta Respons Spektra Percepatan 0.2 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun	2-60
Gambar 2.30 Peta Respons Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun	2-60
Gambar 2.31 Bentuk Tipikal Respons Spektra di Permukaan Tanah	2-64
Gambar 3.1 Pemodelan Jembatan pada Midas Civil.....	3-1
Gambar 3.2 Hasil Pemodelan <i>Layout</i> Tendon.....	3-5
Gambar 3.3 Konfigurasi Lubang Tendon pada Penampang Melintang Gelagar <i>Mid Span</i>	3-6
Gambar 3.4 Konfigurasi Lubang Tendon pada Penampang Melintang Gelagar <i>Side Span</i>	3-6
Gambar 3.5 <i>Construction Stage</i> Base.....	3-7
Gambar 3.6 <i>Construction Stage</i> 1.....	3-8
Gambar 3.7 <i>Construction Stage</i> 2.....	3-8
Gambar 3.8 <i>Construction Stage</i> 3.....	3-8
Gambar 3.9 <i>Construction Stage</i> 4.....	3-8
Gambar 3.10 <i>Construction Stage</i> 5.....	3-9
Gambar 3.11 <i>Construction Stage</i> 6.....	3-9
Gambar 3.12 <i>Construction Stage</i> 7.....	3-9
Gambar 3.13 <i>Construction Stage</i> 8.....	3-9
Gambar 3.14 <i>Construction Stage</i> 9.....	3-10
Gambar 3.15 <i>Construction Stage</i> 10.....	3-10
Gambar 3.16 <i>Construction Stage</i> 11.....	3-10
Gambar 3.17 Pemodelan Beban Alat Konstruksi	3-11

Gambar 3.18 Pemodelan Beban Beton Segar	3-12
Gambar 3.19 Pemodelan Beban Aspal.....	3-13
Gambar 3.20 Pemodelan Beban <i>Railing</i>	3-13
Gambar 3.21 Pemodelan Beban Lajur D BTR Kondisi Tengah Bentang.....	3-14
Gambar 3.22 Pemodelan Beban Lajur D BGT Kondisi Tengah Bentang	3-14
Gambar 3.23 Pemodelan Beban Lajur D BTR Kondisi Ujung Bentang.....	3-14
Gambar 3.24 Pemodelan Beban Lajur D BGT Kondisi Ujung Bentang	3-14
Gambar 3.25 Beban Truk.....	3-15
Gambar 3.26 Pemodelan Beban Rem	3-16
Gambar 3.27 Pemodelan Beban Angin pada Kendaraan.....	3-17
Gambar 3.28 Pemodelan Beban Angin pada Struktur Atas.....	3-17
Gambar 3.29 Pemodelan Beban Angin pada Struktur Bawah.....	3-17
Gambar 3.30 Respons Spektra Tanah Situs D Medan	3-19
Gambar 3.31 Pemodelan Kombinasi Pembebanan	3-21
Gambar 4.1 Diagram Momen akibat <i>Dead Load</i> pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1a	4-4
Gambar 4.2 Diagram Tegangan Serat Atas akibat <i>Dead Load</i> pada <i>Construction</i> <i>Stage</i> 10 Jembatan Model 1a.....	4-4
Gambar 4.3 Diagram Tegangan Serat Bawah akibat <i>Dead Load</i> pada <i>Construction</i> <i>Stage</i> 10 Jembatan Model 1a.....	4-4
Gambar 4.4 Diagram Momen akibat <i>Dead Load</i> pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1b	4-5
Gambar 4.5 Diagram Tegangan Serat Atas akibat <i>Dead Load</i> pada <i>Construction</i> <i>Stage</i> 10 Jembatan Model 1b	4-5
Gambar 4.6 Diagram Tegangan Serat Bawah akibat <i>Dead Load</i> pada <i>Construction</i> <i>Stage</i> 10 Jembatan Model 1b	4-5
Gambar 4.7 Diagram Momen akibat Prategang pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1a	4-6
Gambar 4.8 Diagram Tegangan Serat Atas akibat Prategang pada <i>Construction</i> <i>Stage</i> 10 Jembatan Model 1a.....	4-6
Gambar 4.9 Diagram Tegangan Serat Bawah akibat Prategang pada <i>Construction</i> <i>Stage</i> 10 Jembatan Model 1a.....	4-7

Gambar 4.10 Diagram Momen akibat Prategang pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1b.....	4-7
Gambar 4.11 Diagram Tegangan Serat Atas akibat Prategang pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1b.....	4-7
Gambar 4.12 Diagram Tegangan Serat Bawah akibat Prategang pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1b.....	4-8
Gambar 4.13 Diagram Momen akibat <i>Summation</i> pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1a.....	4-8
Gambar 4.14 Diagram Tegangan Serat Atas akibat <i>Summation</i> pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1a.....	4-9
Gambar 4.15 Diagram Tegangan Serat Bawah akibat <i>Summation</i> pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1a.....	4-9
Gambar 4.16 Diagram Momen akibat <i>Summation</i> pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1b.....	4-9
Gambar 4.17 Diagram Tegangan Serat Atas akibat <i>Summation</i> pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1b.....	4-10
Gambar 4.18 Diagram Tegangan Serat Bawah akibat <i>Summation</i> pada <i>Construction Stage</i> 10 Jembatan Model 1b.....	4-10
Gambar 4.19 Diagram Momen Terbesar akibat Kombinasi Daya Layan I pada Masa Layan Jembatan Model 1a.....	4-11
Gambar 4.20 Diagram Momen Terbesar akibat Kombinasi Daya Layan I tanpa Pengaruh Prategang pada Masa Layan Jembatan Model 1a.....	4-12
Gambar 4.21 Diagram Tegangan Serat Atas Terbesar akibat Kombinasi Daya Layan I pada Masa Layan Jembatan Model 1a.....	4-12
Gambar 4.22 Diagram Tegangan Serat Bawah Terbesar akibat Kombinasi Daya Layan II pada Masa Layan Jembatan Model 1a.....	4-12
Gambar 4.23 Diagram Momen Terbesar akibat Kombinasi Daya Layan I pada Masa Layan Jembatan Model 1b.....	4-13
Gambar 4.24 Diagram Momen Terbesar akibat Kombinasi Daya Layan I tanpa Pengaruh Prategang pada Masa Layan Jembatan Model 1b.....	4-13
Gambar 4.25 Diagram Tegangan Serat Atas Terbesar akibat Kombinasi Daya Layan I pada Masa Layan Jembatan Model 1b.....	4-13

Gambar 4.26 Diagram Tegangan Serat Bawah Terbesar akibat Kombinasi Daya Layan II pada Masa Layan Jembatan Model 1b	4-14
Gambar 4.27 Ilustrasi Pemasangan CFRP pada Potongan Melintang Gelagar .	4-15
Gambar 4.28 Ilustrasi Pemasangan CFRP pada Tampak Samping Jembatan ...	4-16
Gambar 4.29 Tegangan Tepi Atas Penampang Variasi 2a	4-21
Gambar 4.30 Tegangan Tepi Atas Penampang Variasi 2b	4-21
Gambar 4.31 Tegangan Tepi Atas Penampang Variasi 2c	4-22
Gambar 4.32 Tegangan Tepi Atas Penampang Variasi 2d	4-22
Gambar 4.33 Tegangan Tepi Atas Penampang Berbagai Variasi.....	4-23



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Lingkungan untuk FRP.....	2-7
Tabel 2.2 Tegangan Ijin Akibat Beban Layan pada FRP.....	2-16
Tabel 2.3 Koefisien Standar Susut Beton sebagai Tambahan Regangan Jangka Panjang.....	2-38
Tabel 2.4 Koefisien Standar Rangkak Beton sebagai Tambahan Regangan Jangka Panjang.....	2-41
Tabel 2.5 Kombinasi Beban dan Faktor Beban	2-43
Tabel 2.6 Berat Isi untuk Beban Mati	2-44
Tabel 2.7 Faktor Beban untuk Berat Sendiri.....	2-45
Tabel 2.8 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	2-45
Tabel 2.9 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”.....	2-48
Tabel 2.10 Faktor Beban untuk Beban “T”	2-49
Tabel 2.11 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu.....	2-52
Tabel 2.12 Tekanan Angin Dasar.....	2-53
Tabel 2.13 Tekanan Angin Dasar (PB) untuk Berbagai Sudut Serang.....	2-54
Tabel 2.14 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan.....	2-55
Tabel 2.15 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal.....	2-55
Tabel 2.16 Parameter T_1 , T_2 , dan T_3	2-57
Tabel 2.17 Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang	2-58
Tabel 2.18 Faktor Beban Akibat Susut dan Rangkak	2-58
Tabel 2.19 Kelas Situs.....	2-61
Tabel 2.20 Faktor Amplifikasi untuk PGA($FPGA$) dan 0.2 Detik (Fa)	2-62
Tabel 2.21 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 Detik (Fv).....	2-63
Tabel 2.22 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Bangunan Bawah.....	2-66
Tabel 2.23 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Hubungan Antar Elemen Struktur	2-66
Tabel 3.1 Spesifikasi Beton yang digunakan	3-2
Tabel 3.2 Spesifikasi Tulangan Prategang yang digunakan.....	3-3
Tabel 3.3 Spesifikasi Selongsong yang digunakan	3-3

Tabel 3.4 Spesifikasi CFRP yang digunakan	3-4
Tabel 3.5 Respons Spektra Tanah Situs D Medan	3-20
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Tegangan Penampang	4-2
Tabel 4.2 Variasi Penggunaan CFRP	4-15
Tabel 4.3 Hasil Analisis Perhitungan Penggunaan CFRP	4-17
Tabel 4.4 Modulus Penampang Serat Tertarik pada Tiap Lokasi Jembatan	4-19
Tabel 4.5 Efek Penggunaan Variasi Dimensi CFRP terhadap Tegangan Serat Atas Penampang	4-20



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	PENGATURAN PEMODELAN PADA MIDAS CIVIL
LAMPIRAN 2	PERHITUNGAN BESAR PEMBEBANAN
LAMPIRAN 3	PERHITUNGAN KEBUTUHAN JUMLAH TULANGAN PRATEGANG
LAMPIRAN 4	PERHITUNGAN KEBUTUHAN DIMENSI CFRP
LAMPIRAN 5	PENGECEKAN SYARAT ACI 440.2R-17 TENTANG KEKUATAN STRUKTUR TERHADAP <i>FAILURE</i> DAN KEBAKARAN



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring bertambahnya tingkat pertumbuhan penduduk dan pengaruh era globalisasi menyebabkan kebutuhan akan transportasi akan semakin meningkat. Namun, kondisi lahan yang semakin terbatas menyebabkan membuat jalan baru di atas tanah menjadi solusi yang tidak ideal, terlebih lagi jika destinasi tujuan bersilangan dengan jalan-jalan lainnya, ataupun harus melintasi perairan. Jalan keluarnya adalah dengan membangun *interchange* berupa jembatan layang.

Metode pembangunan jembatan *Balanced Cantilever* merupakan salah satu solusi jika jembatan yang akan dibangun berada di atas suatu jalan yang tidak dapat diganggu atau jika jembatan yang dibangun harus melewati perairan. Metode *balanced cantilever* ini sangat umum digunakan karena metode pembangunan jembatan dengan metode *balanced cantilever* membutuhkan sedikit perancah atau bahkan sama sekali tidak menggunakannya, sehingga lalu lintas di bawahnya tidak akan terganggu/terhalang, juga memudahkan untuk pembangunan jembatan di atas perairan.

Akan tetapi, salah satu kekurangan dari metode ini adalah kebutuhan akan tulangan prategang pada tepi atas yang sangat banyak untuk menopang berat segmen gelagar-gelagar kantilever, terutama untuk konstruksi *cast in-situ/cor* di tempat, karena kekuatan beton selama fase penarikan prategang belum mencapai kekuatan penuh. Ketika masa konstruksi jembatan sudah selesai, tulangan prategang pada tepi atas tersebut sudah tidak berkontribusi lagi untuk masa layan. Hal ini menyebabkan penggunaan tulangan prategang menjadi tidak efisien dan boros. Salah satu cara untuk menghemat tulangan prategang pada tepi atas gelagar adalah dengan menggunakan lembaran *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.

1.2 Inti Permasalahan

Umumnya penggunaan CFRP pada jembatan bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dukung jembatan yang sebelumnya sudah dibangun, sehingga saat ini belum ada penelitian terkait penggunaan CFRP pada masa konstruksi jembatan. Karena itu, diperlukan kajian yang membahas tentang penggunaan CFRP sebagai pengganti tulangan prategang serta optimasi dimensi lembaran dan jumlah lapisan CFRP tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

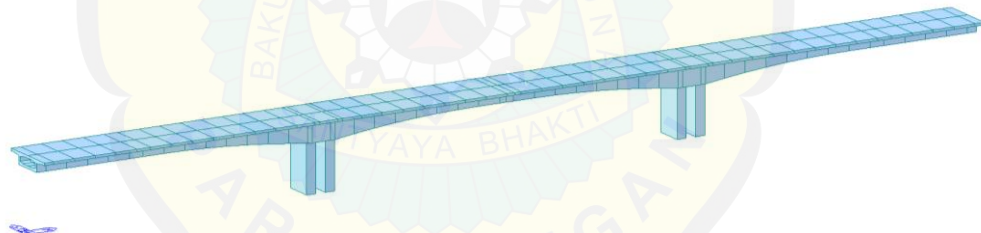
- a. Mendesain dimensi *box girder* sesuai kriteria yang berlaku, yaitu berdasarkan *Sauvageot. G. "Segmental Concrete Bridges", US. Department of Transportation. "Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Highway Bridge Superstructures", dan PCI Bridge Committee. "Tentative Design and Construction Specifications for Precast Segmental Box Girder Bridges"*.
- b. Melakukan analisis tahapan konstruksi jembatan *balanced cantilever*.
- c. Mendesain dimensi *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* yang bisa digunakan untuk menggantikan tulangan prategang selama masa konstruksi jembatan.

1.4 Pembatasan Masalah

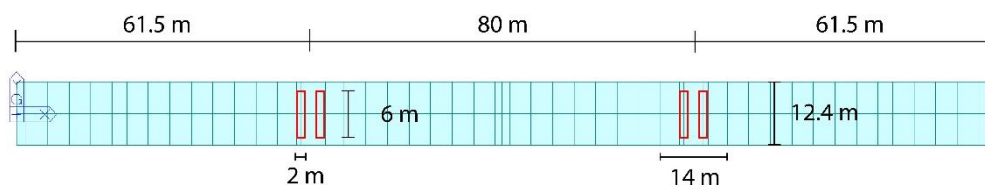
Pada penulisan skripsi ini, pembatasan masalah adalah sebagai berikut:

- a. Jembatan dua lajur dua arah dengan panjang bentang 80 meter. Seperti yang ditampilkan pada gambar 1.1 hingga 1.3.
- b. Mutu beton *box girder* dan *pier*, $f'_c = 45 \text{ MPa}$.
- c. Jenis tulangan prategang yang digunakan adalah *low relaxation strands* dengan diameter 15,3 mm dan kekuatan tarik 1860 MPa.
- d. Jembatan terletak di Medan dengan *site class: D*.
- e. Konstruksi jembatan dilakukan secara *cast in-situ*.

- f. Gelagar yang digunakan berupa *box girder* satu *cell* dengan dimensi sesuai gambar 1.4.
- g. Pemodelan jembatan dilakukan sebanyak tiga model, yaitu model pertama berupa jembatan dengan jumlah tulangan prategang yang optimal (1a), dan jembatan dengan jumlah tulangan prategang yang dikurangi (1b). Model jembatan 2 merupakan model jembatan 1b yang akan dipasang CFRP dengan berbagai variasi ukuran.
- h. Peraturan yang digunakan:
- SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan
 - SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa
 - ACI 440.2R-17 *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*
 - No. 007/BM/2009 Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol
 - RSNI T-12:2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan



Gambar 1.1 Tampak 3D Jembatan



Gambar 1.2 Tampak Atas Jembatan

