

# ANALISIS RESPON STRUKTUR GELAGAR TERHADAP VARIASI JARAK KABEL PADA CABLE STAYED BRIDGE

Alvian Pebriansyah Ramdani<sup>1</sup>, Suharyatma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam  
Indonesia

Email: [alvianpbr@gmail.com](mailto:alvianpbr@gmail.com)

<sup>2</sup>Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam  
Indonesia

Email: [haryatmo@yahoo.com](mailto:haryatmo@yahoo.com)

**Abstract:** Cable Stayed bridge is a bridge held by cables. This bridge is included in the category of long span bridge. The structure of the cable stayed bridge consists of a combination of various structural components such as pillars, cables, and bridge decks. The cable structure is arranged with a particular configuration connecting the bridge deck on the pylon. This study is to determine the ratio of girder structure response and tensile strength of cable to cable range variation. The structural responses reviewed are axial forces, moments, and deflections. The loading is in the form of self weight load, additional dead load, temporary load, brake load, wind load, and earthquake load. The pylon distance to the first cable used are 15 m, 17 m, 19 m, 21 m, 23 m, and 25 m, while the subsequent cable spacing are 9 m, 8,7 m, 8,3 m, 8 m, 7,7 m, and 7,3 m. Structural analysis using SAP2000 V.14 and Excel 2013 program. The object of the study uses the Merah Putih Bridge where located in Ambon with a total length of 300 meters. The results of this study indicates that the axial force that occurs in each variation of the cable distance has an increase and decrease, while the moment force and deflection on the edge girder increase in each variation of the cable distance. Likewise with the pulling force of the cable, the greater the distance of the pylon to the first cable, the tensile force of the number one cable is greater.

*Keyword: Cable Stayed Bridge, Cable Distance, Respons Structure*

## 1 PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju memicu pertumbuhan di segala aspek kehidupan seperti ekonomi, sosial, budaya, dan lain-lain. Pertumbuhan tersebut perlu diimbangi dengan adanya sarana prasarana yang memadai. Salah satu sarana prasarana yang dibutuhkan adalah sarana transportasi. Tingkat mobilitas yang tinggi menuntut adanya peningkatan fasilitas infrastruktur di bidang transportasi seperti jembatan dengan bentang yang panjang. Salah satu struktur jembatan dengan bentang panjang adalah jembatan *cable stayed*.

Jembatan *cable stayed* sudah dikenal sejak lebih dari 200 tahun yang lalu (Walther, 1988). Pada awalnya, jembatan ini dibangun dengan menggunakan kabel *vertical* dan miring seperti *Dryburgh Abbey Footbridge* di Skotlandia yang dibangun pada tahun 1817. Jembatan tersebut masih merupakan kombinasi dari jembatan *cable stayed modern*. Sejak saat itu jembatan *cable stayed* mengalami banyak perkembangan dan mempunyai bentuk yang bervariasi.

Struktur jembatan ini terdiri dari gabungan berbagai komponen struktural seperti pilar,

kabel, dan dek jembatan. Struktur kabel disusun dengan konfigurasi tertentu menghubungkan dek jembatan pada *pylon*. Dek jembatan digantung dengan kabel prategang yang diangkur pada pilar. Dengan demikian, semua gaya-gaya gravitasi maupun lateral yang bekerja pada dek jembatan akan ditransfer ke tanah melalui kabel dan pilar. Kabel akan menerima gaya tarik sedangkan pilar memikul gaya tekan yang sangat besar disamping efek lentur lainnya (Yuskar dan Andi, 2005). Jembatan *cable stayed* terdiri dari beberapa tipe, yaitu jembatan tipe *harp*, tipe *fan*, tipe *radiating*, dan tipe *star*. Pada jembatan tipe *harp*, kabel-kabel penggantung dipasang sejajar dan disambungkan ke menara dengan ketinggian yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Pada tipe *fan*, susunan kabel disebar pada bagian atas menara dan pada dek sepanjang bentang. Pada tipe *radiating*, susunan kabel dipusatkan pada ujung atas menara dan disebar sepanjang bentang pada gelagar. Sedangkan pada tipe *star*, memiliki bentuk yang berlawanan dengan tipe *radiating* dimana kabel disusun terpusat pada gelagar.

Berdasarkan adanya perbedaan konfigurasi penyusunan kabel pada jembatan tipe *cable stayed* mendorong untuk dilakukan penelitian tentang perbandingan respon struktur gelagar jembatan terhadap variasi jarak kabel. Respon struktur merupakan perilaku yang terjadi pada struktur setelah mendapatkan beban. Perilaku yang terjadi dapat berupa momen, gaya geser, gaya aksial, deformasi, dll. Penelitian dilakukan pada jembatan *cable stayed* tipe *fan*. Respon struktur yang ditinjau mencakup momen, gaya aksial, dan defleksi. Pada penelitian ini digunakan Jembatan Merah Putih Ambon sebagai objek penelitian dengan panjang total sebesar 300 meter.

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Gaya-Gaya Dalam (Respon Struktur)

Gaya dalam merupakan gaya yang melawan gaya luar yang timbul dari kekuatan bahan

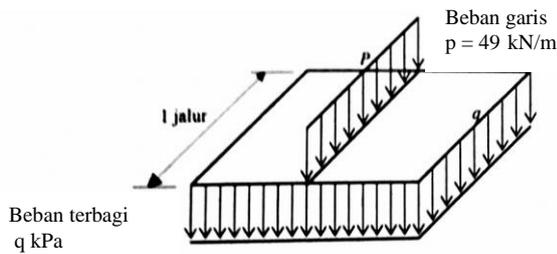
konstruksi. Gaya dalam dapat berupa gaya aksial, momen, deformasi, dan lain-lain.

### 2.2 Pembebanan

Pembebanan dalam perencanaan jembatan di Indonesia mengacu pada Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016). Berdasarkan SNI 1725-2016, aksi-aksi (beban, perpindahan, dan pengaruh lainnya) dikelompokkan menurut sumbernya, antara lain adalah:

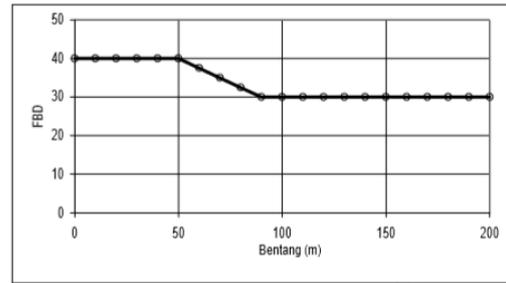
1. Berat Sendiri  
Berat sendiri adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktur, ditambah dengan elemen non struktur yang dianggap tetap. Berat sendiri dihitung berdasarkan berat isi dan kerapatan massa (*unit weights and mass densities*).
2. Beban Mati Tambahan  
Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Beban mati contohnya dapat berupa lapisan kembali permukaan aspal (*overlay*) setebal 50 mm dengan  $\gamma_{\text{aspal}}$  sebesar 25 kN/m<sup>3</sup>.
3. Beban Lajur "D"  
Beban lajur "D" adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar  $q$  kPa dan beban garis "p". Besar beban  $q$  tergantung pada panjang total  $L$  yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:  
 untuk  $L \leq 30$  m, maka  $q = 9,0$  kPa  
 untuk  $L > 30$  m,  
 maka  $q = 9,0 (0,5 + 15/L)$  kPa  
 Keterangan:  
 $q$  = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)  
 $L$  = panjang total jembatan yang dibebani (meter)  
 (SNI 1725-2016, Pasal 8.3.1).

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $p$  adalah 49,0 kN/m (SNI 1725-2016, Pasal 8.3.1). Penyebaran beban lajur "D" dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Beban Lajur "D"  
(Sumber: Supriyadi dan Muntohar, 2007)

4. **Beban Truk "T"**  
Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.
5. **Faktor Beban Dinamis**  
Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya FBD tergantung kepada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Beban garis FBD dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Faktor Beban Dinamis  
(Sumber: SNI 1725-2016)

6. **Gaya Rem**  
Gaya rem harus ditempatkan di semua lajur rencana sesuai dengan SNI 1725-2016 Pasal 8.2 dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk dapat bekerja secara horizontal diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Beban gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain, atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR).
7. **Beban Angin**  
Tekanan angin diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Beban angin dihitung dengan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \frac{V_{10}}{V_B} \ln \frac{Z}{Z_0} \quad (1)$$

Keterangan:

$V_{DZ}$  = 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 10000 mm yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan dalam SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.1 dan pasal 9.6.2

$Z$  = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)

$V_0$  = Kecepatan gesekan angin yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 3.2 untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

$Z_0$  = Panjang gesekan di hulu jembatan yang merupakan karakteristik meteorolog

$V_{10}$  dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
- Survei angin pada lokasi jembatan.
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencanaan dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90$  s/d 126 km/jam.

Tabel 2 Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_0$ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
$Z_0$	70	1000	2500

$$P_D = P_B \frac{V_{DZ}^2}{V_B} \quad (2)$$

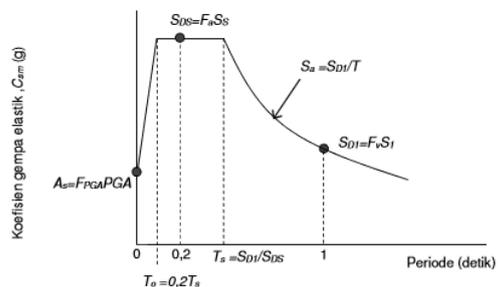
Keterangan:

$P_B$  = Tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 3 (MPa)

Tabel 3 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

- Beban Gempa (Respon Spektrum)**  
Respon spektrum adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis maka respon spektrum dibuat dalam bentuk respon spektrum yang sudah disederhanakan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Spektrum Respon Desain (RSNI 2833:201X)

### 2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban didasarkan pada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja bersamaan. Dalam analisis ini digunakan kombinasi pembebanan sebagai berikut.

Kombinasi I :  
1,3 MS + 2MA + 1,8D + 1,8TB

Kombinasi II :  
1,3 MS + 2MA + 1,4D + 1,4TB

Kombinasi III :  
1,3 MS + 2MA + 1,4EW

Kombinasi IV : 1,3 MS + 2MA

Kombinasi V :  
 $1,3 MS + 2MA + 0,4EW$   
 Kombinasi VIA :  
 $1,3 MS + 2MA + 0,5D + 0,5TB + EQX$   
 Kombinasi VIB :  
 $1,3 MS + 2MA + 0,5D + 0,5TB + EQY$

## 2.4 Perencanaan Struktur Baja

### 1. Perhitungan Kuat Desak

$$\lambda = \frac{Lk}{r} \quad (3)$$

Klasifikasi Penampang

a. Pada Sayap

$$\frac{b_f}{2 \times t_f} < \lambda_p \quad (4)$$

b. Pada Badan

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad (5)$$

$$N_n = 0,66 \lambda_c^2 \times A \times f_y \quad (6)$$

$$\text{Rasio} = \frac{N_u}{\phi N_n} \quad (7)$$

### 2. Perhitungan Kuat Lentur

$$M_n = M_p \quad (8)$$

$$M_p = Z_y \times f_y \quad (9)$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} \quad (10)$$

### 3. Interaksi Aksial dan Lentur

$$\frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2 \quad (11)$$

$$\frac{N_u}{2 \times \phi N_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (12)$$

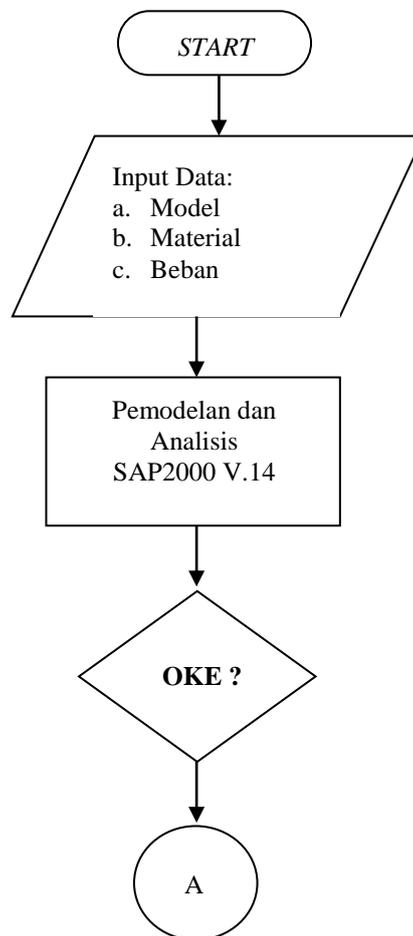
## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Data Yang Diperlukan

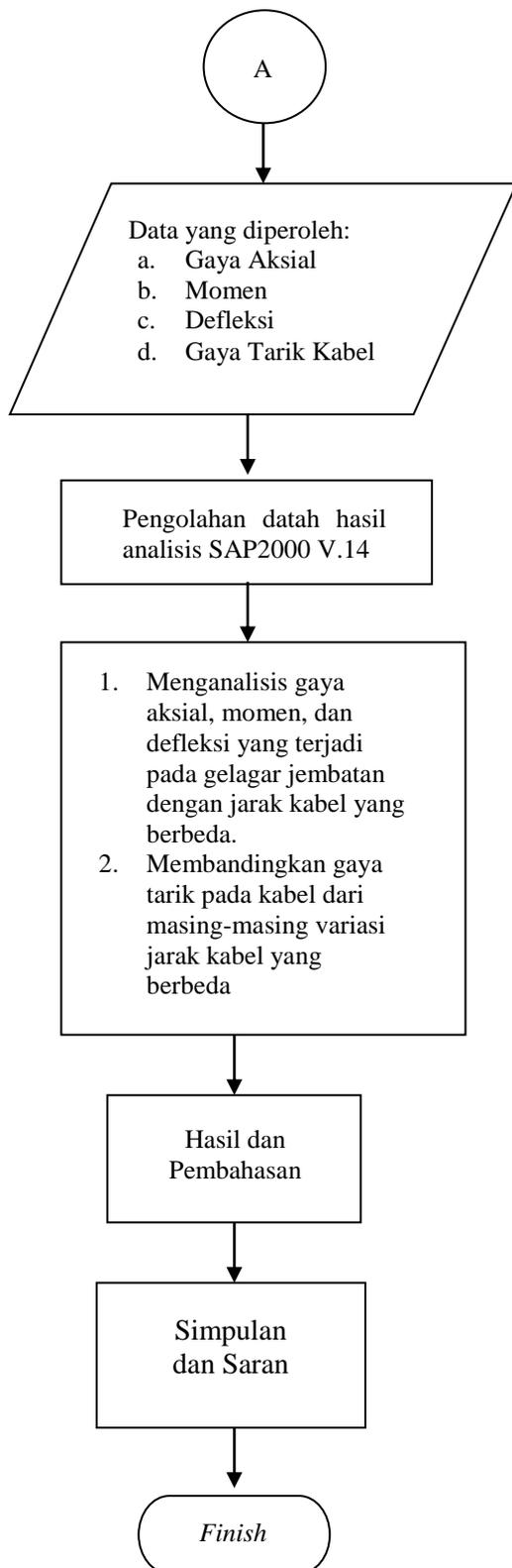
Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa peta situasi dan *shop drawing* jembatan. Objek penelitian yang digunakan adalah Jembatan Merah Putih Ambon dengan panjang bentang 300 m.

### 3.2 Langkah-Langkah Analisis Tugas Akhir

Langkah-langkah analisis tugas akhir ini dapat dilihat pada *flow chart* pada Gambar 4.



Gambar 4 *Flow Chart* Tugas Akhir



Lanjutan Gambar 4 Flow Chart Tugas Akhir

## 4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Jembatan

Data struktur jembatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Panjang bentang (L) : 300 m
2. Panjang *main span* : 150 m
3. Panjang *side span* : 75 m
4. Tebal slab lantai (ts) : 0,25 m
5. Tebal aspal+*overlay* (ta) : 0,7 m
6. Lebar 1 jalur lalu lintas ( $b_1$ ): 9,45 m
7. Lebar median : 0,5 m
8. Lebar total jembatan : 21 m
9. Tinggi *pylon* : 83,5 m
10. Jumlah lajur : 2 jalur – 4 lajur
11. Variasi jarak kabel yang digunakan adalah sebagai berikut:
  - a. Jembatan Tipe 1 : Jarak *pylon* ke kabel pertama 15 m (jarak eksisting), jarak antar kabel berikutnya 9 m
  - b. Jembatan Tipe 2 : Jarak *pylon* ke kabel pertama 17 m, jarak antar kabel berikutnya 8,7 m
  - c. Jembatan Tipe 3 : Jarak *pylon* ke kabel pertama 19 m, jarak antar kabel berikutnya 8,3 m
  - d. Jembatan Tipe 4 : Jarak *pylon* ke kabel pertama 21 m, jarak antar kabel berikutnya 8 m
  - e. Jembatan Tipe 5 : Jarak *pylon* ke kabel pertama 23 m, jarak antar kabel berikutnya 7,7 m
  - f. Jembatan Tipe 6 : Jarak *pylon* ke kabel pertama 25 m, jarak antar kabel berikutnya 7,3 m

### 4.2 Rekapitulasi Pembebanan

Berdasarkan analisis pembebanan yang telah dilakukan, diperoleh rekapitulasi beban-beban yang bekerja yang dapat dilihat pada Tabel 4.

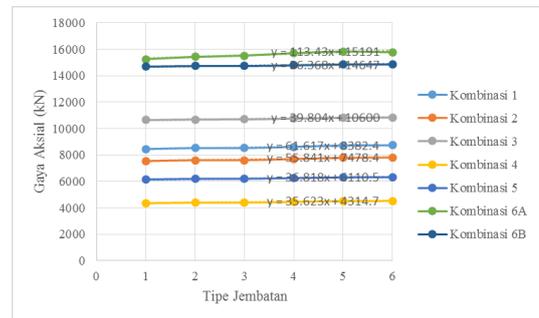
Tabel 4 Rekapitulasi Pembebanan

No.	Jenis Beban	Besar Beban
1.	Berat Sendiri ( <i>MS</i> )	
	a. Parapet (kN/m)	8,02
	b. Tiang Sandaran (kN/m)	4,25
	c. Median (kN/m)	3,6
	d. Lantai (kN/m)	21
2.	Beban Mati Tambahan ( <i>MA</i> ) (kN/m)	7,105
3.	Beban Lajur ( <i>D</i> )	
	a. BTR (kN/m)	18,32
	b. BGT (kN)	222,95
4.	Beban Rem (kN)	0,82
5.	Beban Angin ( <i>EW</i> )	
	a. Beban Angin Pada Gelagar (kN)	42,71
	b. Beban Angin pada <i>Pylon</i> (kN/m)	46,34
6.	Beban Gempa ( <i>EQ</i> )	Respon Spektrum

### 4.3 Respon Struktur Pada Gelagar Tepi Jembatan

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan SAP2000 v.14 didapat hasil berupa gaya-gaya dalam yang berlaku pada masing-masing elemen struktur dari 6 variasi jarak kabel jembatan dengan semua kombinasi beban. Hasil yang digunakan adalah nilai maksimum dari masing-masing gaya-gaya dalam untuk semua kombinasi pembebanan yang dapat dilihat pada Gambar 5 sampai Gambar 8 berikut.

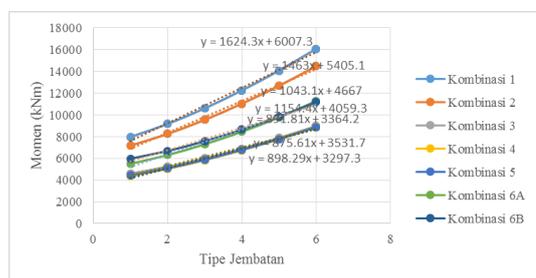
## 1. Gaya Aksial



Gambar 5 Grafik Hubungan Gaya Aksial Gelagar Tepi Terhadap Variasi Jarak Kabel Jembatan

Dari grafik hubungan gaya aksial gelagar tepi terhadap variasi jarak kabel, dapat dilihat bahwa gaya aksial yang merupakan gaya yang bekerja searah dengan sumbu elemen struktur yang terjadi pada gelagar tepi relatif meningkat namun ada sedikit penurunan serta memiliki pola yang relatif sama pada setiap pertambahan jarak dari *pylon* ke kabel pertama jembatan. Hal ini disebabkan karena gaya aksial di gelagar dipengaruhi oleh gaya-gaya tarik pada kabel jembatan yang besarnya tidak sama di setiap kabel, sehingga besarnya gaya aksial di setiap segmen gelagar dapat berubah-ubah.

## 2. Momen

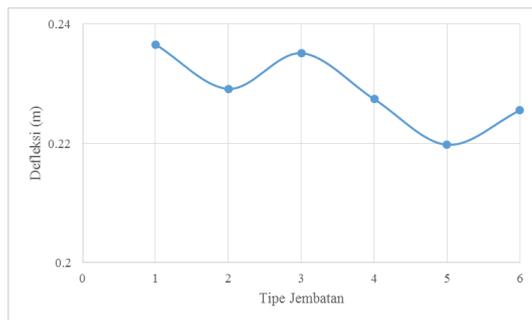


Gambar 6 Grafik Hubungan Momen Gelagar Tepi Terhadap Variasi Jarak Kabel Jembatan

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa semakin besar jarak *pylon* ke kabel pertama maka momen yang

terjadi pada gelagar tepi semakin besar. Secara teori, semakin jauh jarak kabel terhadap *pylon* akan mengakibatkan gaya tarik kabel semakin besar. Hal ini dapat menyebabkan gaya aksial besar, sehingga momen yang terjadi menjadi besar juga.

### 3. Defleksi



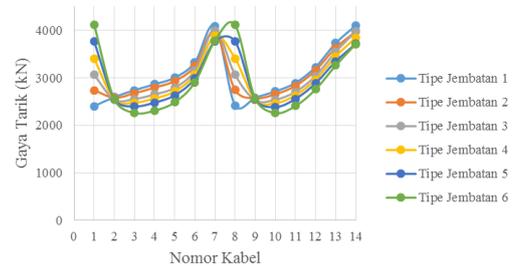
Gambar 7 Grafik Hubungan Defleksi Pertemuan Titik Kabel Pertama dengan Gelagar Tepi Terhadap Variasi Jarak Kabel Akibat Kombinasi Beban

Berdasarkan Gambar 7 di atas dapat dilihat bahwa defleksi yang terjadi pada gelagar tepi akibat kombinasi beban mengalami kenaikan dan penurunan di setiap variasi jarak kabel. Menurut AISC besar defleksi maksimum pada gelagar dapat ditentukan dengan rumus:

$$\delta_{\text{maks}} = \frac{1}{360} \times L = \frac{1}{360} \times 150 = 0,833 \text{ m}$$

Dari rumus di atas, dapat diketahui bahwa defleksi yang terjadi pada gelagar tepi di setiap variasi jarak kabel masih memenuhi batas aman.

### 4. Gaya Tarik Kabel



Gambar 8 Grafik Perbandingan Gaya Tarik Kabel Penahan

Berdasarkan grafik perbandingan gaya tarik kabel pada Gambar 8, dapat dilihat bahwa gaya tarik kabel terbesar terletak pada kabel yang terdekat dengan *pylon*. Pada kabel pertama ini nilai gaya tarik semakin besar seiring dengan bertambah besar jarak dari *pylon* ke kabel pertama, sedangkan untuk kabel penahan nomor 2 dan 3 gaya tarik mengalami penurunan, kemudian mengalami kenaikan kembali pada kabel penahan nomor 4 sampai 7. Begitu juga dengan kabel penahan nomor 8 sampai 14 memiliki pola yang sama dengan kabel penahan nomor 1 sampai 7. Hal ini dapat disebabkan oleh defleksi yang terjadi pada gelagar tersebut, posisi kabel, dan sudut pemasangan kabel. Perlu adanya penelitian lebih lanjut yang membahas tentang hal tersebut

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Momen yang terjadi pada gelagar jembatan cenderung meningkat pada setiap variasi jarak kabel jembatan. Semakin jauh jarak kabel terhadap *pylon* maka semakin besar momen yang terjadi pada gelagar tepi jembatan, sedangkan gaya aksial pada gelagar tepi jembatan relatif mengalami kenaikan di setiap variasi jarak kabel.

2. Defleksi yang terjadi pada gelagar tepi akibat beban kombinasi masih aman terhadap variasi jarak kabel.
3. Gaya tarik kabel penahan pada kabel nomor 1 atau yang terdekat dengan *pylon* mengalami kenaikan seiring dengan bertambah besar jarak dari *pylon* ke kabel pertama.

Yuskar dan Andi, 2005. Kajian Sambungan Antara Pilar dan Kabel Pada Jembatan Cable Stayed, Jakarta: Universitas Indonesia.

## 5.2 Saran

Berdasarkan rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh, penulis memberikan beberapa saran yaitu:

1. Penelitian ini hanya memperhitungkan beban mati, beban lajur "D", beban rem, beban angin, dan beban gempa, sehingga pada penelitian berikutnya dapat ditambah dengan beban-beban lain sesuai SNI 1725-2016.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai perilaku dan gaya-gaya yang bekerja pada elemen kabel pada jembatan *cable stayed*.
3. Pada penelitian ini tidak memperhitungkan kebutuhan material kabel, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum, 2003, RSNI T-03-2005, Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan, Penerbit Bina Marga, Jakarta.
- Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum, 201X, RSNI3 2833:201X, Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa, Penerbit Bina Marga, Jakarta.
- Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum, 2016, SNI-1725-2016, Standar Pembebanan Untuk Jembatan, Penerbit Bina Marga, Jakarta.
- Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muntohar, 2007, Jembatan, Yogyakarta: Beta Offset.
- Walther, 1988, dalam Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muntohar, 2007, Jembatan, Yogyakarta: Beta Offset.